

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

**Epidemiologische Untersuchung
von Wurzelkanalbehandlungen und apikalen Parodontitiden
im Jahre 2010**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Theresia Hammann
aus München
2016

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Mitberichterstatter:	Priv. Doz. Dr. med. Dr. med. dent. Gerson Mast
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. dent. Christian Diegritz
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der mündlichen Prüfung:	27.10.2016

Eidesstattliche Versicherung

Hammann, Theresia

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Epidemiologische Untersuchung von Wurzelkanalbehandlungen und apikalen
Parodontitiden im Jahre 2010**

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient
und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen
sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der
Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in
ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades
eingereicht wurde.

München, 22.11.2016

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	4
2.1 Epidemiologie	4
2.1.1 Kennzahlen.....	4
2.1.2 Studiendesigns	5
2.2 Radiologie und Endodontie	6
2.2.1 Bildgebung: Zahnfilm, OPG und DVT	6
2.2.2 Kalibrierung und Reproduzierbarkeit	10
2.3 Endodontie.....	12
2.3.1 Erkrankungen des Endodonts und apikalen Parodonts	12
2.3.2 Therapeutische Maßnahmen	13
2.3.3 Endodontie vs. Implantation	16
2.4 Studienübersicht.....	18
3 Zielsetzung.....	22
3.1 Material und Methode.....	22
3.2 Kriterien und Merkmalsausprägungen	25
3.2.1 Zahn und Zahnposition.....	25
3.2.2 Wurzelkanalfüllung	26
3.2.3 Stift und koronale Versorgung.....	28
3.3.4 Periapikale Umgebung	29
4 Ergebnisse	31
4.1 Patientenbezogene Befunde	31
4.1.1 Ausschlusskriterien.....	31
4.1.2 Alters- und Geschlechtsverteilung	31
4.1.3 Zahnzahl	33
4.1.4 Apikale Parodontitis	34
4.1.5 Wurzelkanalbehandelte Zähne	38
4.2 Zahnbezogene Befunde	41
4.2.1 Häufigkeit von Wurzelkanalfüllungen.....	41
4.2.2 Dichtigkeit, Homogenität und Länge der Wurzelkanalfüllungen.....	42
4.2.3 Aufbereitungsfehler an wurzelkanalbehandelten Zähnen	43
4.2.4 Stifte sowie Art und Qualität der koronalen Versorgung	44
4.2.5 Periapikaler Status der wurzelkanalbehandelten Zähne	46
4.3 Korrelationen	48
4.3.1 Länge und Dichtigkeit.....	49
4.3.2 Periapikaler Index zu Länge, Dichtigkeit und koronaler Versorgung	50
4.3.3 Kombination von Länge und Dichtigkeit.....	51
4.3.4 Kombination von Länge, Dichtigkeit und koronaler Versorgung	52
5 Diskussion.....	56

5.1	Material und Methode.....	56
5.1.1	Bildgebende Verfahren.....	57
5.1.2	Kriteriendefinition, Kalibrierung und Einflussfaktoren	59
5.2	Ergebnisse.....	64
5.2.1	Patientenbezogene Befunde	64
5.2.2	Zahnbezogene Befunde	67
5.2.3	Korrelationen	72
6	Zusammenfassung	75
	Abbildungsverzeichnis	I
	Tabellenverzeichnis	II
	Literaturverzeichnis.....	III
	Danksagung	XI

1 Einleitung

“You can only treat, what you see and you can only see, what you know.”

Dieser Leitsatz des amerikanischen Professors und Spezialisten für mikroskopische Zahnheilkunde, Syngcuk Kim, prägt seit Anfang der 90er Jahre die Endodontie. Wissen gepaart mit den technischen Möglichkeiten einer Mikroskopvergrößerung stellen für ihn die Eintrittspforte zu einer adäquaten endodontischen Behandlung dar. (Abb. 1)



Abb. 1: Kanalschließung des mb1 und mb2 an Zahn 26 unter mikroskopischer Vergrößerung¹

In den frühen Anfängen (4000 v. Chr.) zählte man in China auf die schmerzlindernde Wirkung von Arsen bei Pulpaerkrankungen. Von den Babyloniern wurden zur Therapie von Schmerzzähnen Dämpfe und Kräutereinlagen in die Zahnhöhle angewendet. Hippokrates (460 - 377 v. Chr.) vertrat einen einfachen Leitsatz in seinem Werk „De affectionibus“: „Was die Zahnschmerzen anbelangt, so muss man, wenn (der Zahn) angefressen ist und wackelt, ihn ausziehen, wenn er aber nicht angefressen ist und auch nicht wackelt, jedoch schmerzt, so muss man ihn durch Brennen austrocknen.“ Anhand eines Schädelfundes aus dem Jahr 200 v. Chr. in der Wüste Negev wurde erstmals ein Bronzedraht im Wurzelkanal eines oberen Schneidezahnes nachgewiesen. Von Celsus (25 v. Chr. - 30 n. Chr.) wird die Extraktion schmerzender Zähne oder die Anwendung einer in heißes Öl getränkten und mit Baumwolle umwickelten Sonde empfohlen. In den folgenden Jahrhunderten etablierte sich die Eröffnung des Zahnes mit einem Bohrer zur Schaffung einer Zugangskavität. Darauf folgte die symptomatische Therapie mit trocken erhitzten oder in heißes Öl getauchten Sonden. Später wurden auch unterstützend narkotische Substanzen in die Wurzelkanäle eingebracht. [49]

1782 werden im Werk „Le chirurgien dentiste“ von Fauchard detailliert Instrumente und Vorgehensweise der Wurzelkanalaufbereitung mittels erhitzter Messingdrähte beschrieben. Das Kanalsystem wurde abschließend mit Blei gefüllt oder mit einer Stiftkrone versorgt. Mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts änderte sich der Ansatzpunkt der Behandlung. Von da an verdrängte die Technik des „cauterium potentiale“, also die

¹ Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Dr. Christian Diegritz, Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität München

Devitalisierung mittels chemischer Substanzen, nach und nach die Technik des heißen Brennens („cauterium actuale“). Obwohl die devitalisierende Wirkung von Arsen schon im frühen China bekannt war, verbreitete es sich erst mit der Einführung des Scherbenkobalts durch Wood (1833) und des Arsentrioxids durch Spooner (1836) in der Wurzelkanalbehandlung. 1824 startete Delmond den Versuch, statt der Kauterisation das pulpal Gewebe zu entfernen. Aus demselben Jahr ist auch eine Rechnung über eine Wurzelkanalfüllung mittels gestopfter Goldfolie durch Hudson überliefert. 1864 wurde der Kofferdam in der Endodontie durch Barnum eingeführt, drei Jahre später folgte die Verwendung von Guttapercha durch Bowmann. Willaughby Dayton Miller, Doktorand von Robert Koch in Berlin, erkannte um 1880 den Zusammenhang zwischen bakterieller Infektion und der Entstehung einer Gangrän im Zahn. Danach verschob sich der Behandlungsschwerpunkt in Richtung der Desinfektion des Wurzelkanalsystems. [49]

Mit der Entdeckung der Röntgenstrahlung durch Konrad Röntgen im Jahr 1895 und der Anwendung im dentalen Bereich eröffnete sich eine neue Dimension der Behandlung in der Endodontie. Allerdings war eine Röntgenaufnahme zu dieser Zeit nicht mit einer heutigen zu vergleichen. Probleme lagen in langen Belichtungszeiten und großen Gewebeschäden durch die Strahlung. 1910 jedoch stellte Hunter die Theorie auf, dass wurzelkanalbehandelte und nekrotische Zähne systemische Erkrankungen verursachen können und deshalb eine Extraktion derselben nötig sei (Theorie der Fokalinfection). Die Diskussion darüber und die resultierenden Extraktionen warfen den Fortschritt in der Endodontie um mehr als 50 Jahre zurück. Parallel wurden chemisch-physikalische Verfahren zur Reduzierung der Keimzahl erprobt, wie Diathermie und Joulisierung, Ozonisation und die Chlorgasmethode. Schon 1957 von Richman beschrieben - aber erst durch die Veröffentlichungen von Martin und Cunningham in den 70er und 80er Jahren populär geworden - ist die Verwendung von Ultraschall zur Wurzelkanalaufbereitung. Die Aufbereitungsinstrumente wurden erst im Jahre 1974 mit der Einführung der entsprechenden ISO-Normen standardisiert. 1994 gab es erstmals ESE-Qualitätsrichtlinien für endodontische Behandlungen, die im Jahr 2006 nochmals überarbeitet wurden. [49]

Die Einführung rotierender Nickel-Titan-Feilen vor etwas mehr als 20 Jahren revolutionierte die Aufbereitung des Wurzelkanalsystems. Die flexiblen und elastischen Feilen ermöglichen eine effektive und zugleich schonende Aufbereitung auch in gekrümmten Kanälen mit geringerer Komplikationsrate gegenüber den Handfeilen aus Stahl. Heute existieren verschiedenste Systeme, die sich in Bezug auf Sicherheit, Effektivität und einfache Handhabung untereinander messen lassen müssen. [40]

An diesem kurzen geschichtlichen Überblick lässt sich eindrucksvoll erkennen, wie sich die Endodontie stets weiter entwickelt hat. Der Bedarf an endodontischen Versorgung bleibt gegeben und wird noch zunehmen, da durch verbesserte Mundhygiene und Prophylaxemaßnahmen sowie erweiterte Therapiemöglichkeiten der Zahnerhalt langfristiger gesichert ist. Dies wurde 2006 in der 4. Deutschen Mundgesundheitsstudie

deutlich. Dem durchschnittlichen Erwachsenen fehlten damals 2,7 Zähne, 1997 hingegen waren es noch 4,2 [61].

In der heutigen zahnärztlichen Praxis gibt es jedoch eine Diskrepanz zwischen dem potentiellen Leistungsspektrum und der Kostenübernahme durch die gesetzlichen Krankenkassen. Diese honorieren aktuell nach Prüfung der Wirtschaftlichkeit maximal drei medikamentöse Einlagen und eine zweckmäßige Wurzelkanalfüllung, nicht aber die elektrische Widerstandsmessung zu Lokalisierung des physiologischen Apex, maschinelle Aufbereitung der Kanäle, Warmfülltechniken und den Einsatz von Vergrößerungshilfen. Zum Vergleich: Bereits 1998 führte die „American Association of Endodontics“ (AAE) als Voraussetzung für den Erwerb der Zusatzqualifikation „Facharzt für Endodontie“ die Verwendung eines OP-Mikroskops ein.

Eine Umfrage des deutschen Arbeitskreises für Zahnheilkunde e.V. (DAZ) mit über 1.000 Praktikern im Bereich der Endodontie, darunter 12 % Endodontologen, ergab 2010, dass 15% keinen und 22% nur gelegentlich Kofferdam verwenden. 22% bereiten gangränöse Zähne bis zum röntgenologischen Apex auf und (nur) 78% verschließen schmerzhaftes Zähne immer. 25 % verwenden auch Chlorphenol-Kampfer-Menthol (CHKM) bei der Gangränbehandlung.²

Endodontische Maßnahmen zielen in ihrer Gesamtheit darauf ab, die Ausbreitung der Entzündung der Pulpa in das periapikale Gewebe zu verhindern bzw. bei bereits vorhandener Gewebedestruktion eine restitutio ad integrum zu ermöglichen. Die Behandlung der komplexen Prämolaren und Molaren ist dabei in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus gerückt. Dabei blieb das Behandlungsprinzip der mechanischen und chemischen Reinigung des gesamten Wurzelkanalsystems zwar dasselbe, die Erfolgsraten stiegen jedoch trotz technischer Neuerungen nicht in dem Maße wie erwartet.

Diese epidemiologische Studie gibt anhand von 2.500 Panoramaschichtaufnahmen einen Überblick über den endodontischen und periapikalen Status einer Münchner Population im Jahr 2010.

² <http://daz-web.de/hauptseite/bild/Endo-Umfrage-Ergebnisse.pdf>, zuletzt aufgerufen am 04.01.2014

2 Literaturübersicht

Bei der Entwicklung und Durchführung dieser Studie gingen zahnmedizinische, röntgenologische und epidemiologische Fragestellungen Hand in Hand. Im folgenden Abschnitt werden Basisinformationen zu diesen drei Themengebieten gegeben und die entscheidenden Aspekte ausführlicher erörtert. Weiterhin soll der aktuelle Stand der Wissenschaft zum Thema anhand einer Studienübersicht aufgezeigt und die Ausgangshypothesen vorgestellt werden.

2.1 Epidemiologie

Die deutsche Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e.V. definiert Epidemiologie als Wissenschaft, die sich mit der Verbreitung und dem Verlauf von Krankheiten sowie deren verursachenden Faktoren in der Bevölkerung befasst. Epidemiologische Daten können dabei zu rein deskriptiven Zwecken erhoben werden oder um Statistiken zu Mortalität, Morbidität oder anderen Gesundheitsparametern zu erstellen. Gezielte analytische epidemiologische Studien ermöglichen darüber hinaus Aussagen dazu, ob Personen ein erhöhtes Erkrankungsrisiko aufweisen, wenn sie einer vermutlich schädlichen Exposition ausgesetzt sind oder waren. [16]

2.1.1 Kennzahlen

Im Rahmen von medizinisch epidemiologischen Studien werden dabei ausgewählte Patienten untersucht um die Prävalenz und Inzidenz bezüglich einer Erkrankung oder eines gesundheitlichen Prozesses zu erfassen. Dabei versteht man unter Prävalenz die Krankheitshäufigkeit im Gegensatz zur Inzidenz, die die Anzahl der Neuerkrankungen in einem Zeitintervall beschreibt. [103]

Ungünstige Einflussfaktoren auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer bestimmten Erkrankung werden als Risikofaktoren bezeichnet. Dazu werden Studienpopulationen miteinander verglichen, die sich bezüglich des fraglichen Merkmals unterscheiden, ansonsten aber möglichst ähnlich sind. [24]

In der deskriptiven Statistik wird der Risikofaktor über den Odds-Ratio-Test ermittelt. Dabei überprüft man um wie viel häufiger eine Eigenschaft oder Konstellation im Vergleich zur Kontrollgruppe auftritt. Allerdings beweist der ermittelte Faktor keinen Kausalzusammenhang zwischen einer bestimmten Eigenschaft und der Erkrankung, da er rein beschreibend die beobachtete Häufigkeit darstellt. Die Ermittlung von Risikofaktoren vermag also Hinweise in Bezug auf die Ätiopathogenese, also die Ursachen einer Erkrankung, zu geben. [75]

Das Patientenkollektiv einer epidemiologischen Studie wird über gemeinsame demographische, medizinische, soziale oder zeitliche Merkmale definiert. Liegt eine genetische Veranlagung für eine Erkrankung vor, bezeichnet man dies als Prädisposition im Gegensatz zur Disposition, bei der die Neigung zu erkranken durch eine angeborene oder erworbene Anfälligkeit erhöht ist. Zu den erworbenen Dispositionen werden auch die Exposition von schädigenden Umwelteinflüssen wie Krankheitserregern, toxisch chemischen Elementen und physikalischer Noxen wie Hitze, Lärm oder Strahlung gezählt. [104]

2.1.2 Studiendesigns

Prinzipiell wird in der medizinischen Forschung zwischen Primär- und Sekundärforschung unterschieden. Während in der Sekundärforschung schon vorhandene Studienergebnisse in Form von Reviews und Metaanalysen zusammengefasst werden, führt man in der Primärforschung die eigentlichen Studien durch. Man unterscheidet die drei Hauptbereiche medizinische Grundlagenforschung, klinische und epidemiologische Forschung. [112]

Einen ersten Ansatz zur Einteilung epidemiologischer Studien liefert die Unterscheidung in deskriptive und analytische Studien.

Analytische Studien untersuchen dabei die Assoziation zwischen der Exposition gegenüber einem bestimmten Faktor und dem Zustand einer Gruppe exponierter Subjekte. Die Exposition muss quantifizierbar sein und für eine sinnvolle Aussage braucht es ein Bezugssystem. Analytische Studien benötigen deshalb mindestens zwei Gruppen, die miteinander verglichen werden können. [36]

Unter deskriptive Studiendesigns fallen Case Reports, Corelational Studies und Cross-sectional Studies. Fallberichte (Case Reports), in der Regel aus der klinischen Medizin, sind als Frühwarnsystem für neue Erkrankungen und Zwischenfälle relevant aufgrund der geringen Fallzahlen aber nicht für evidenzbasierte Ergebnisse geeignet. [103]

Korrelationsstudien untersuchen den Zusammenhang zwischen Charakteristika von Gesamtpopulationen (z.B. Alter, Rauchen) zu Inzidenz- oder Prävalenzdaten einer Erkrankung. Ein Vorteil der Korrelationsstudien liegt in der schnellen Durchführbarkeit und geringen Kosten. Weiterhin werden viele Daten von Behörden und privaten Organisationen routinemäßig gesammelt und können mit geringem Aufwand mit der Inzidenz von Krankheiten und deren Sterblichkeit oder auch mit der Inanspruchnahme bestimmter Dienstleistungen im Gesundheitssektor korreliert werden. Der Hauptnachteil von Korrelationsstudien besteht darin, dass keine direkte Verbindung zwischen der Exposition und einem bestimmten Individuum hergestellt werden kann. [5]

Bei der Cross-sectional oder auch Querschnittsstudie werden Daten des Studienkollektivs zu einem identischen Zeitpunkt erhoben. Dabei wird die Prävalenz von Krankheiten untersucht wie auch Risikofaktoren und Entwicklungen im Gesundheitswesen abgeschätzt. Kausalzusammenhänge können mit diesem Studiendesign jedoch nicht über-

prüft werden, weil keine Angaben zur zeitlichen Abfolge von Exposition und Outcome zur Verfügung stehen. Die Vorteile von Querschnittstudien liegen in der schnellen Realisierungsmöglichkeit bei vergleichsweise geringen Kosten und der Möglichkeit gleichzeitig mehrere Faktoren und mehrere Outcome zu untersuchen. [5]

Querschnittstudien eignen sich jedoch nicht für die Untersuchung von Krankheiten mit rezidivierendem oder saisonalem Verlauf, weil diese mit einer einzigen Messung je nach Zeitpunkt nicht oder zumindest nur unvollständig erfasst werden [36].

Entscheidend ist bei der Planung des Studiendesigns auch die Auswahl und Größe des Patientenkollektivs im Zusammenhang mit der Anzahl der Kriterien und ihrer Merkmalsausprägungen zu betrachten. Im Rahmen von epidemiologisch, endodontischen Studien sind röntgenologische Auswertungen sinnvoll. Bei Bedarf werden diese auch durch klinische Befunde ergänzt.

2.2 Radiologie und Endodontie

In der Endodontie sind die bildgebenden Verfahren die einzige Möglichkeit das Innenleben und die periapikale Umgebung eines Zahnes abschließend zu beurteilen. Klinische Parameter untermauern diese röntgenologischen Befunde, sind aber zur Diagnostik, Behandlung und Kontrolle des Erfolgs allein nicht ausreichend. Als diagnostischer Goldstandard in der Endodontie gelten Zahnfilmröntgenaufnahmen, aber auch Panoramaschichtaufnahmen haben sich bewährt. Im Einzelfall können auch dreidimensionale Aufnahmen in Form eines digitalen Volumentomogramms oder dentalen Computertomogramms hilfreich sein.

2.2.1 Bildgebung: Zahnfilm, OPG und DVT

Der Zahnfilm stellt eine befundbezogene Aufnahme einzelner Zähne unter Einbeziehung der Wurzelregion dar. Dabei kann die Paralleltechnik oder Halbwinkeltechnik angewandt werden. Unter der Paralleltechnik versteht man eine Röntgentechnik nach Elgin Rinn, die mit Hilfe eines Filmhalters durchgeführt wird. Dieser Halter, an dem der Zahnfilm zuvor befestigt wurde, wird parallel zur Zahnlängsachse ausgerichtet. Die Röntgenröhre richtet man dann parallel zur Führungsschiene am Halter aus. Dadurch ist die senkrechte Ausrichtung des Zentralstrahls auf die Filmebene gewährleistet. [99; 17]

Ist die Verwendung eines Halters aus anatomischen Gründen nicht möglich, verwendet man auf die Halbwinkeltechnik. Dabei fixiert der Patient selbst im Mund den Röntgenfilm mit seinem Finger. Dann erfolgt die Ausrichtung des Zentralstrahls auf die Winkelhalbierende zwischen Zahnlängsachse und Filmachse. [99; 17]

Bei beiden Techniken erfolgt die Bildgebung in orthoradialer Projektion. Exzentrische Aufnahmen sind erforderlich, wenn ein bestimmtes Detail überlagerungsfrei projiziert oder ein Objekt durch Strahlenverschiebung lokalisiert werden soll. [122]

Die Panoramaschichtaufnahme hingegen beruht auf dem Zusammenspiel einer Schlitzblende und der koordinierten Bewegung eines Fokus-Bildträger-Systems (Abb. 2). Die Röntgenstrahlung wird vertikal durch die Blende gebündelt, durchdringt den Patienten und trifft dann auf den Bildträger. Der Kassettenträger und die Röntgenröhre bewegen sich gleichförmig im Uhrzeigersinn, nur der Bildträger läuft in Gegenrichtung aus dem Kassettenträger heraus. So entsteht ein Schichtbild aus den Schlitzaufnahmen der Kieferabschnitte. Die Bewegungen der Strahlenquelle und der Blenden beschreiben dabei eine elliptische Bahn. In der zentralen Schichtebene haben die Winkelgeschwindigkeit der Strahlenquelle und des Bildträgers die niedrigste Abweichung. Daher ermöglicht eine exakte Einstellung der Apparatur eine auf ein Minimum reduzierte Bewegungsunschärfe im Bild. Die Schichtdicke ist angepasst auf die einzelnen Kieferabschnitte. So liegt diese im Frontzahnbereich in der Regel zwischen 5 - 10 mm und im Seitenzahnbereich zwischen 15 - 20 mm. Die Rotationsachsen verlaufen während der Aufnahme durch Mitbewegung so, dass die Strahlung zu jeder Zeit etwa orthoradial verläuft. So werden Überlagerungen der Zähne vermieden. Weiterhin wird die Vertikalachse im Verlauf der Aufnahme an die Stellung der Zahnachsen angepasst und auf -6 bis -8 Grad zur Horizontalebene eingestellt. Zum Ermöglichen eines kontinuierlichen Bildes gehen die Positionen der Rotationsachsen fließend ineinander über. In der Panoramaschichtaufnahme werden die anatomischen Strukturen aufgrund des großen Objekt-Film-Abstands um einen Faktor von 1,2 bis 1,5 vergrößert dargestellt. Dabei kann der Vergrößerungsfaktor zwischen einzelnen Kieferabschnitten variieren. [122]

Bei einer digitalen Panoramaschichtaufnahme ist der Film durch einen Sensor ersetzt. Der Sensor dient dann als Strahlenempfänger. Die Umwandlung erfolgt entweder direkt über einen strahlungsgehärteten CCD-Chip oder indirekt über die Umwandlung in sichtbares Licht mittels einer Leuchtfolie. Die Hauptvorteile der digitalen Bildgebung liegen in der reduzierten Strahlenbelastung um bis zu 60 - 70 %, der Zeitersparnis durch direkte Verfügbarkeit des Bildes und der möglichen Bildnachbearbeitung beispielsweise durch Filter, Kontraständerung oder Vergrößerung. [122]

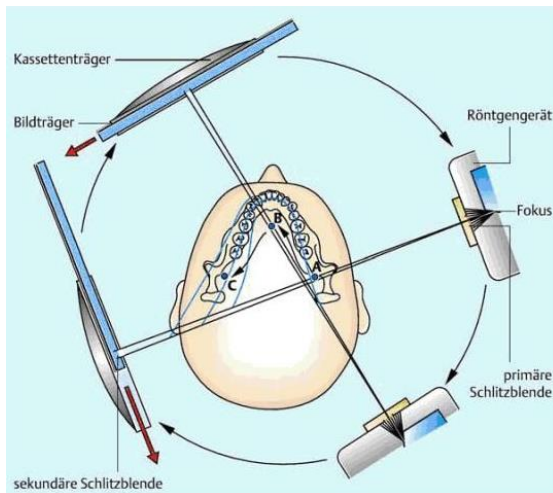


Abb. 2: Bewegungsablauf bei einem Panoramaschichtgerät (nach Pasler 2003) [122]

Im Jahr 1998 wurde ein Verfahren zur dreidimensionalen Schnittbilddiagnostik eingeführt - die digitale Volumentomographie (DVT) (Abb. 3). Die Aufnahmen dienen der Beurteilung der knöchernen Strukturen im Rahmen einer implantologischen Behandlung und Lagebeziehung verlagelter Zähne, aber auch Raumforderungen im Knochen und Traumadiagnostik sind Indikationsbereiche. In einem Umlauf wird dabei ein primäres Schnittbild erstellt, aus dem dann eine sekundäre Rekonstruktion in allen Ebenen und eine drehbare dreidimensionale Darstellung erfolgt. [122]

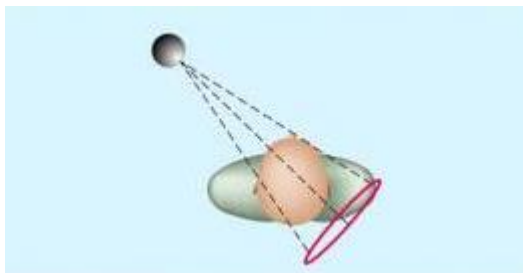


Abb. 3: Digitaler Volumentomograph mit einem kegelförmigen Strahlenbündel [122]

Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde (DGZMK) stellte 2009 in einer Leitlinie folgende Indikationen der digitalen Volumentomographie in der Endodontie vor: Wurzelresorptionen, Diagnostik von Wurzelfrakturen und apikale Veränderungen bei Vorliegen klinischer Auffälligkeiten als Ergänzung zur zweidimensionalen Bildgebung [121]. Neu hinzu kamen 2013 die Detektion von Perforationen, Stiftperforationen, Instrumentenfrakturen, Fälle mit komplexer Wurzelanatomie und Morphologie, Planung und Durchführung endodontischer Chirurgie, Qualitätskontrolle nach Wurzelfüllung sowie Diagnostik und Therapie dentoalveolärer Traumata [120].

Die digitale Volumentomographie erreicht nur im Hochkontrastbereich den Informationsgehalt der Computertomographie. Allerdings ist die effektive Strahlenbelastung deutlich geringer, als die einer Computertomographie, aber um den Faktor 4 - 20 erhöht gegenüber einer Panoramaschichtaufnahme einzuordnen. Einen Vorteil stellt

auch das reduzierte Auftreten von Strahlungsartefakten bei metallischen Versorgungungen im Vergleich zur Computertomographie dar. [122]

Die Panoramaschichtaufnahme ist als Übersichtsaufnahme besonders geeignet. Dargestellt werden dabei der Ober- und Unterkiefer, auch das Kiefergelenk, Teile der Kieferhöhlen und alle Zähne. Diese Aufnahme wird zur Erfassung des dentalen und knöchernen Status angefertigt, apikale Einzelzahnaufnahmen dagegen eher zur Abklärung bei akuten Beschwerden, unklaren klinischen Befunden und zur Kontrolle bereits erfolgter Behandlung.

Anstelle einer Panoramaschichtaufnahme kann der Zahnstatus auch mit Hilfe von 12 - 14 Zahnfilmen erfasst werden. Allerdings liegt die Strahlenbelastung dabei je nach Verfahren entsprechend höher und ist damit nur indiziert, wenn eine entsprechende Indikation vorliegt, beispielsweise bei einer chronischen Parodontitis zur präzisen Darstellung des Knochenabbaus.

Durch die Einführung der digitalen Radiographie konnte eine deutliche Strahlungsreduzierung erzielt werden. So publizierten Kiefer et al. 2004 eine Übersicht der klinischen Strahlenbelastung bei Panoramaschichtaufnahmen (analog 54 μSv ; digital 45 μSv) und Zahnstaten (analog 78 μSv ; digital 41 μSv). Die tatsächliche Dosis konnte damit durch Umstellung von analogem auf digitales Röntgen im Bereich der PSA um 17 % und bei der Statusübersicht sogar um 47 % gesenkt werden. [64]

Bei der Verwendung von Panoramaschichtaufnahmen müssen Objektdoppeldarstellungen mit Verlust von diagnostisch auswertbaren Bildanteilen berücksichtigt werden. Allerdings können diese teilweise vermieden werden wie durch das Anlegen der Zunge an den Gaumen zur Reduzierung der Artefakte im Oberkieferbereich und das Entfernen von Schmuck und Prothesen. Andererseits können die Doppelabbildung der beiden Unterkieferanteile und des Zungenbeins nur begrenzt durch korrekte Justierung des Patientenkopfes minimiert werden, hingegen aber schützt die Kenntnis dieses Phänomens vor Fehldiagnosen und falsch pathologischen Diagnosen. [138]

Bezüglich der Diagnostik der apikalen Parodontitis ist die Panoramaschichtaufnahme den Einzelzahnfilmen im Frontzahnbereich unterlegen, wie es in der Studie von Grasser und Barth belegt wurde. Dies ist auf die unvermeidbare Wirbelsäulenüberlagerung zurückzuführen. Im Seitenzahnbereich hingegen entsprachen sich die erhobenen Befunde in der überwiegenden Anzahl der Fälle. [37]

Freitag und Weber ermittelten in einer vergleichenden Bewertung von Orthopantomogrammen und Zahnfilmen zur apikalen Diagnostik ebenfalls eine Schwäche der Panoramaaufnahme im anterioren Bereich, aber eine erhöhte Sensitivität und Spezifität für periapikale Befund an Unterkiefermolaren und Eckzähnen im Oberkiefer. In den übrigen Regionen stellten sich positive Befunde mit etwa gleicher Häufigkeit dar. Damit ist der Zahnfilm dem Orthopantomogramm nicht in jedem Fall überlegen, vielmehr können im Einzelfall aufgrund des Summationseffekts von Kortikalis und Spongiosa zentral gelegene Details im Zahnfilm überdeckt werden, wohingegen sie im OPG deutlich dargestellt werden. [30]

Vor diesem Hintergrund ist für epidemiologische Studien also die Verwendung von Panoramaaufnahmen als sinnvoll zu erachten, da diese Aufnahmen einen Überblick über den gesamten Zahnstatus und knöchernen Strukturen bei niedriger Strahlenbelastung und geringem Zeitaufwand geben. Im klinischen Alltag werden die gewonnenen Informationen unter Würdigung der klinischen Parameter gezielt durch Zahnfilme ergänzt.

2.2.2 Kalibrierung und Reproduzierbarkeit

Einen wichtigen Einflussfaktor im Rahmen der Auswertung stellt auch der Untersucher mit seiner Interpretation der Röntgenaufnahme dar. Die wiederholte Betrachtung einerseits aber auch die Interpretation durch verschiedene Untersucher können zu divergierenden Ergebnissen führen. Man spricht im ersten Fall von intraobserver variability, im zweiten Fall von der interobserver variability.

1972 ermittelten Goldman et al. in einer Studie mit sechs Zahnmedizinern Übereinstimmungswerte von nur 47 Prozent bezüglich der periapikalen Gesundheit anhand 253 Röntgenbildern. Weiterhin beurteilten die Untersucher, die einen Großteil der endodontische Behandlungen selbst durchgeführt hatten, diese häufiger als erfolgreich abgeschlossen als ihre Kollegen. [35]

Weitere Studien von Reit und Hollender (1983) [109] und Zakariasen et al. (1984) [143] bestätigten dieses Problem der interindividuellen Diskrepanz. Allerdings konnte eine Verbesserung der Übereinstimmungen erreicht werden, sofern die Untersucher zuvor untereinander kalibriert wurden [109; 108].

Eine strenge Definition der Bewertungskriterien anhand Referenzbildern (Beispiel: PAI) oder Messskalen (Beispiel: Entfernung zum radiologischen Apex) sind zudem förderlich für die Kongruenz der Interpretation und zur Minimierung von Fehldiagnosen [20]. Das gemeinsame Besprechen diagnostisch schwieriger Grenzfälle ermöglicht zudem eine Optimierung der Ergebnisse [115; 92; 41].

Endodontologen erzielten untereinander bei Mc Caul et al. 2001 eine signifikant geringere interobserver variability als in anderen Fachgebieten spezialisierte Zahnärzte und allgemeintätige Zahnärzte [88]. Allerdings korrelierte die Übereinstimmung auch mit der Größe der periapikalen Läsion. Die besten Kappa-Werte ergaben sich in allen Gruppen bei ausgedehnten Radioluzenzen.

Nach Landis und Koch (1977) werden die ermittelten Kappa-Werte wie folgt eingeordnet [78]:

- < 0: Poor agreement
- 0.00 – 0.20: Slight agreement
- 0.21 – 0.40: Fair agreement
- 0.41 – 0.60: Moderate agreement
- 0.61 – 0.80: Substantial agreement
- 0.81 – 1.00: Almost perfect agreement

Goldman et al. ermittelten nach einem Zeitraum von zwei Jahren einen Übereinstimmungskoeffizienten von 72 - 88 % je nach Behandler für die intraobserver variability (IAV). Auch Zakariasen et al. [143] publizierten ähnliche Werte für die IAV von vier Studienteilnehmern zwischen 70 und 87 %. Almost perfect agreement von 83 % bei Reevaluation nach 10 - 17 Jahren erzielten Spezialisten für Radiologie und Endodontie bei Molven et al. 2002 [92]. Dies sei laut Molven et al. auf die lange Berufserfahrung und die gute Qualität der Röntgenbilder zurückzuführen.

Bei der Entwicklung des Studiendesigns sollte also im Fortgang der Arbeit in zeitlichem Abstand eine erneute zufällig extrahierte Stichprobe befundet und der Kappa-Wert berechnet werden. Dieser gibt eine Aussage über die intraobserver variability (IAV) und damit die Aussagequalität der Studienergebnisse.

Die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen sollte durch die Nachbefundung einer Stichprobe durch einen zweiten versierten Untersucher angestrebt werden. Dafür steht der Kappa-Wert der interobserver variability (IEV). Durch diese beiden Verfahrensweisen wird die subjektive Bildbetrachtung auf ein objektiveres Level gebracht.

Auch die optische Umgebung bei der radiologischen Auswertung stellt eine Einflussgröße dar. Patel et al. evaluierten periapikale Veränderungen in abgedunkelter Umgebung und unter Verwendung von Vergrößerungshilfen mit einer Spezifität und Sensitivität von jeweils 78 % [100].

Um die endodontische und apikale Situation eines Zahnes röntgenologisch adäquat beurteilen zu können, sind weiterhin Kenntnisse über anatomischen und biologischen Verhältnisse sowie therapeutischen Maßnahmen im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung erforderlich.

2.3 Endodontie

Unter Endodontie versteht man den Teilbereich der Zahnheilkunde, der sich mit der Anatomie, Histologie und Physiologie des Endodonts und mit der Ätiologie, Epidemiologie, Pathologie, Prävention, Diagnostik und Therapie von Erkrankungen des Endodonts und der dem Endodont benachbarten periradikulären Gewebe befasst. [49]

Die Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin umschließen die Zahnpulpa. Das Pulpagewebe besteht als spezialisierte Form des Bindegewebes vor allem aus Fibrozyten und –blasten sowie Odontoblasten, aber auch aus undifferenzierten Mesenchymzellen und Immunzellen. Das gallertartige Bindegewebe ist dabei die Grundsubstanz, die von Dentin bildenden Odontoblasten gesäumt ist. Entwicklungsgeschichtlich wie auch funktionell stellen die Pulpa und das umgebende Dentin eine Einheit dar, das sogenannte Pulpa-Dentin-System oder Endodont. Weiterhin ist die Pulpa von Blut- und Lymphgefäßen sowie Nervenfasern durchzogen, die über das Foramen apicale mit der Umgebung verbunden sind. Diese Innervation bedingt auch die Reaktionsfähigkeit der Pulpa auf thermische, chemische, osmotische und mechanische Reize. [49; 79]

2.3.1 Erkrankungen des Endodonts und apikalen Parodonts

Eine Entzündung der Pulpa ist die häufigste Erkrankung des Endodonts. Ursächlich dafür können infektiöse, traumatische und iatrogene Einflüsse sein. Exemplarisch genannt seien hier Karies, Abrasionen, Parodontitis, Zahnfrakturen und Präparations-traumata. [49]

Entscheidend für das Entstehen einer Pulpitis ist dabei die Anwesenheit von Bakterien und ihren Abbauprodukten. Denn die Pulpitis stellt eine Schutz- und Abwehrreaktion des Körpers gegen einen überschwelligeren Reiz dar. Bei rechtzeitiger Reizausschaltung ist eine Regeneration der Pulpa möglich, da sie die reparative Kapazität von normalem Bindegewebe besitzt (reversible Pulpitis). Persistiert der Reiz jedoch, kommt es zu einer zunehmenden Infektionsausbreitung und nekrotischem Zerfall des Pulpagewebes bis zur vollständigen Pulpanekrose. [49]

Abb. 4 zeigt dabei die möglichen Infiltrationswege der bakteriellen Besiedlung des Endodonts.

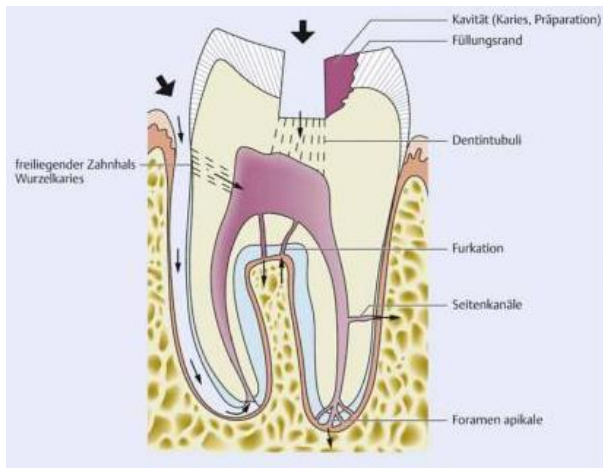


Abb. 4: Pforten pathologischer Prozesse zwischen Pulpa-Dentin-System und Mundhöhle/Parodont [49]

Eine unbehandelte Pulpainfektion mündet stets in eine Parodontitis apicalis. Dabei handelt es sich um eine Entzündung der periapikalen Gewebestrukturen mit Resorption von Knochen und Wurzelzement durch den Versuch der Immunabwehr die Infektion einzudämmen und zu eliminieren, um eine systemische Ausbreitung zu verhindern. Eine sterile Pulpanekrose ist nur in seltenen Fällen nach Trauma möglich. [49]

2.3.2 Therapeutische Maßnahmen

Ist an einem Zahn eine endodontische Behandlung vonnöten, so ist das Behandlungsziel eine suffiziente Wurzelkanalfüllung durch Verschluss des präparierten und desinfizierten endodontischen Hohlraumes und die Unterbrechung aller Verbindungen zwischen Mundhöhle, Endodont und apikalem Parodont zu Vermeidung der Rekolonialisierung mit Mikroorganismen. [49]

Dafür wird zuerst ein Zugang zum Kanalsystem angelegt. Die sogenannte Trepanation erfolgt unter Berücksichtigung der anatomischen Gegebenheiten und unter Hinzuziehen des Röntgenbildes. Ein ungehinderter und geradliniger Zugang zu den Kanälen zum Vermessen, Aufbereiten, Desinfizieren und Füllen derselben ist dabei anzustreben. Das Abtragen des Pulpakammerdachs und die vollständige Kariesexcavation stehen zu Beginn, im Anschluss werden die Kanaleingänge aufgesucht. Dabei wird nach dem Ausschlussprinzip vorgegangen. Die maximal mögliche Kanalanzahl ist die Ausgangsbasis. Eine Vergrößerung mittels Lupenbrille oder Operationsmikroskop erleichtert dabei das Auffinden derselben. Die Vorteile des Operationsmikroskops liegen in der variablen Vergrößerung, der schattenfreien Ausleuchtung des Arbeitsfeldes, einer ergonomisch vorteilhaften Sitzposition und der leichteren Differenzierung zwischen Restaurationsmaterialien sowie regulärem und irregulärem Dentin. Auch das Auffinden eines zweiten mesiobukkalen Kanals des oberen ersten Molaren gelingt deutlich häufiger. [43; 66]

Die Verwendung von Kofferdam sollte laut Deutscher Gesellschaft für Zahnheilkunde (DGZ) bei jeder Sitzung der Wurzelkanalbehandlung erfolgen, sofern nicht übergeord-

nete medizinische Gründe wie z.B. Allergien, Asthma, Atemwegsobstruktionen oder Epilepsie dies verbieten, um den Zutritt von Speichel und Bakterien zu verhindern und der Aspiration und Ingestion von Spülflüssigkeiten und endodontischen Kleinstinstrumenten vorzubeugen. [51]

Die Wurzelkanalfüllung soll später apikal an dem Punkt enden, an dem das Endodont in das pulpo-parodontale Mischgewebe übergeht. Dabei ist zu bedenken, dass es sich bei der Dentin-Zementgrenze um eine histologische Grenze nicht aber um eine anatomische Struktur handelt, die röntgenologisch und klinisch nicht eindeutig zu detektieren ist. Deswegen wird als reproduzierbarer Endpunkt die sogenannte apikale Konstriktion oder auch Foramen physiologicum als die vermeintlich engste Stelle des Wurzelkanals gewählt. Dies ermöglicht am besten die Präparation eines apikalen Stopps, um eine Überinstrumentierung zu vermeiden. Anatomische Besonderheiten wie Multikonstriktionen, trichterförmige oder parallele Konstriktionen oder gar das Fehlen einer apikalen Konstriktion sind aber möglich. [47; 142]

Die Ermittlung der endodontischen Arbeitslänge, also des Abstands von einem frei gewählten Referenzpunkt zur apikalen Konstriktion des Kanals, ist notwendig um eine Über- oder Unterinstrumentierung des Kanals und damit verbundene Verletzung des periapikalen Gewebes oder Belassen von entzündetem oder nekrotisiertem Pulpagewebe zu verhindern und kann röntgenologisch oder elektrisch mittels Endometrie bestimmt werden. Eine taktile Messung ist zur Längenabschätzung hingegen nicht geeignet. [43]

Vorteile der Endometrie liegen dabei in der einfachen Wiederholbarkeit und fehlenden Strahlenbelastung bei guter Messgenauigkeit. Es wird über eine elektrische Widerstandsmessung die Lage der apikalen Konstriktion bestimmt. [49]

Denn zwischen Schleimhaut und intrakanalärem Wurzeldentin ist der Widerstand konstant, ändert sich aber schlagartig bei Erreichen des Wurzelzements. Dort ist der Widerstand und somit das Messsignal am größten, unterhalb der Konstriktion jedoch am geringsten, denn dort, jenseits des engen Wurzelkanals im Bereich des Desmodonts, kann der Strom in sämtliche Richtungen fließen. [47]

Idealerweise ergänzen sich die endometrische und röntgenologische Längenmessung, denn Ausmaß, Lage und Radius einer Wurzelkanalkrümmung können nur anhand eines Röntgenbildes abgeschätzt werden. So sollte die alleinig endometrisch gestützte Wurzelkanalbehandlung auf Sonderfälle wie Schwangerenbehandlung und Notfallbehandlung beschränkt bleiben. [79]

Nach der Längenbestimmung erfolgt die Aufbereitung des Wurzelkanals. Diese kann mit Handinstrumenten und maschinell erfolgen. Als Materialien stehen Edelstahl- und die deutlich flexibleren Nickel-Titan-Feilen zur Verfügung. Die Aufbereitungstechniken werden in drei Kategorien eingeteilt: apikal-koronale z.B. step-back Technik, koronal-apikale z.B. step-down Technik und Kombinationsformen. Alternierend zur Erweiterung des Kanals spült man mit desinfizierenden Lösungen, um Gewebereste und Bakterien zu beseitigen und auch schlecht zugängliche Kanalabschnitte und Nebenkanäle errei-

chen. Natriumhypochlorit (NaOCl 0,5 - 5 %) wird wegen seiner antibakteriellen und gut gewebeauflösenden Eigenschaft als Hauptspülung verwendet. Ergänzend können Chelatverbindungen wie Ethylendiamintetraacetat (EDTA) oder Zitronensäure zur Entfernung der Schmierschicht und eine abschließende Spülung mit Chlorhexidindigluconat (CHX 2 %) zur Verbesserung der antimikrobiellen Wirkung gegenüber endodontischen Problemkeimen Anwendung finden. Eine Aktivierung dieser Spüllösungen mittels Ultraschall erhöht die Effizienz, entscheidender ist aber die Eindringtiefe, eingebrachte Menge und angemessene Einwirkdauer [43]

Im Anschluss daran wird der Kanal mit Papierspitzen getrocknet. Ist dies aufgrund einer Exsudation nicht möglich oder liegt eine akute apikale Parodontitis vor, so hat eine medikamentöse Einlage mit einem Kalziumhydroxid-Präparat (pH 12,5) bis zum Abklingen der Symptome zu erfolgen. Die antimikrobielle Wirkung entsteht aufgrund des hohen pH-Wertes durch Zerstörung der Zellmembranen, Denaturierung von Proteinen und Enzymen, sowie DNA Schädigung. Die eigentliche Wurzelkanalfüllung wird erst eingebracht, wenn der Zahn symptomlos, geruchlos und trockenbar ist. Wurzelkanäle können dann manuell oder maschinell gefüllt werden. Ein adäquates Wurzelfüllmaterial zeichnet sich durch eine gute Biokompatibilität, Röntgensichtbarkeit, möglichst geringe Schrumpfung und einfache Verwendung aus. In der Regel wird dafür Guttapercha in Kombination mit einem Sealer verwendet. Die Guttapercha kann dabei erwärmt im plastischen Zustand eingebracht werden oder mehrere kalte Guttaperchastifte nach dem Prinzip der lateralen Kondensation. Der Sealer als Wurzelfüllpaste hat dabei die Aufgabe zusätzlich abzudichten und Unebenheiten der Kanalwände wie auch Kanalform auszugleichen. Ziel ist der vollständige, wandständige, blasenfreie Verschluss des aufbereiteten Wurzelkanalsystems bis zur apikalen Konstriktion und die Verhinderung der Rekolonisation von Bakterien. Eine Röntgenkontrollaufnahme wird nach der Wurzelkanalfüllung zur Qualitätskontrolle und Dokumentation angefertigt. [49]

Der hier beschriebene Ablauf bezieht sich auf die endodontische Erstbehandlung bleibender Zähne. Für Revisionen bereits vorhandener Wurzelkanalfüllungen und die Besonderheiten der Milchzahndodontie sei an die entsprechende Fachliteratur verwiesen.

Um ein koronales Leakage, also die Einwanderung von Bakterien seitens der Mundhöhle zu vermeiden, ist der bakteriendichte Verschluss des Zahnes nach erfolgreich abgeschlossener endodontischer Behandlung ohne Wartezeit vorzunehmen [29; 84]. Je nach Ausdehnung können endodontische behandelte Seitenzähne mit direkten Kompositfüllungen versorgt werden oder aber auch bei größerem Destruktionsgrad mit höckerfassenden Onlays, Teilkronen oder Vollkronen. Im Frontzahnbereich kann in der Regel von indirekten, laborgefertigten Restaurationen abgesehen werden, sofern nicht große labiale oder orale Defekte vorliegen. Stiftversorgungen sind an stark destruierten Zähnen zur Retention für den Aufbau vorgesehen. [22]

Intrakoronale Präparationsformen für die Versorgung mit konventionellen, nicht adhäsiven Materialien (Amalgamfüllungen, Inlays) verursachen eine ungünstige Spannungsverteilung [22]. Bei beidseitiger Unterbrechung der Integrität der Randleiste (mod-

Kavität) ist die Festigkeit dabei nahezu um $2/3$ gegenüber intakten Zähnen reduziert [106; 48] und damit auch ein höheres Frakturrisiko des Zahnes vergesellschaftet [42].

2.3.3 Endodontie vs. Implantation

Die Einleitung einer Wurzelkanalbehandlung stellt den letzten Versuch des Zahnerhalts dar. Daher steht die Frage im Raum in welchen Fällen eine endodontische Behandlung sinnvoll ist und welchen Stellenwert Implantatversorgungen einnehmen.

Die Erfolgsquote von Wurzelkanalbehandlungen bemessen am periapikalen Index (PAI) liegt zwischen 38 und 84 Prozent (siehe Kapitel 2.4). Eine vergleichende Studie von Doyle et al. (2006) ermittelte an initial wurzelkanalbehandelten Zähnen im Vergleich zu Einzelzahnimplantaten identische Verlustraten (6 %) [18]. Die mediane Überlebensdauer lag in der Implantatgruppe höher, aber auch die durch postoperative Komplikationen erforderliche Nachbehandlungsrate war in dieser erhöht (18 % zu 4 %).

Allerdings werden die Erfolgs- und Überlebensraten den von endodontisch behandelten Zähnen und von Implantaten in der Literatur sehr unterschiedlich definiert. So zählen viele Studien, das bloße Vorhandensein eines Implantats in der Mundhöhle als Erfolg, wohingegen endodontisch behandelte Zähne in der Regel klinisch und röntgenologisch keine pathologischen Befunde aufweisen sollten.

Iqbal und Kim beschränkten sich daher in ihrer Metaanalyse 2008 auf einen Vergleich der Überlebensraten anhand 55 Implantat-Studien und 13 endodontischen Studien [54]. Eine direkte Gegenüberstellung beider Verfahren hatte dabei nur in einer der analysierten Studien stattgefunden. Beide Therapieformen ergaben Überlebensraten von 94 - 97 Prozent nach 5 - 10 Jahren.

Bei Implantatstudien muss zudem berücksichtigt werden, dass sich die Angaben auf den reinen Implantaterfolg oder auch auf die implantatgetragenen Rekonstruktionen beziehen können und auch in einigen Studien Implantatverluste in der frühen Heilungsphase nicht berücksichtigt werden. Integriert man diese frühen Verluste in die 10-Jahres-Datensätze, so zeigt sich, dass die Überlebensraten intakter und auch restaurierter Zähne denen der Implantate überlegen sind [144].

Der Destruktionsgrad des Zahnes ist ein wichtiger Prognoseparameter vor Behandlungsbeginn. Denn für die spätere Versorgung sollte die Einhaltung der biologischen Breite berücksichtigt werden. Darunter versteht man das supraalveoläre Attachment, das histologisch eine sehr konstante vertikale Dimension von etwa 2 mm einnimmt. Es besteht aus dem supraalveolären Bindegewebe und dem Saumepithel [32]. Die Folge einer verminderten biologischen Breite kann ein chronisches, selten auch akutes Entzündungsgeschehen sein, verbunden mit Attachmentverlust und alveolärem Knochenabbau [72].

Auch sollte die Aufbaufüllung an wurzelkanalbehandelten Zähnen gemäß des Ferrule-Prinzips 2 mm gefasst werden, um einen stabilisierenden Effekt auf die Zahnwurzel auszuüben [55; 44]. Lassen die anatomischen Verhältnisse dies nicht zu, so ist bei ausreichender Wurzellänge eine chirurgische Kronenverlängerung das Mittel der Wahl, um Ferrule Design und biologische Breite einzuhalten [22].

Subgingivale Querfrakturen eines Zahnes stellen eine relative Kontraindikation für eine Wurzelkanalbehandlung je nach Lage der Frakturlinie dar. Supragingivale Frakturen, also oberhalb des Gingivaums, können hingegen unkompliziert wiederaufgebaut werden.

Grundsätzlich gibt es auch für implantologischen Maßnahmen relative oder absolute Kontraindikationen, die bei Menschen mit schweren Allgemeinerkrankungen oder ungünstiger Ausgangslage gegen eine Implantation sprechen. Das können sein: Systemerkrankungen des Knochens (z.B. Morbus Paget), hämatologische Erkrankungen, pathologische Mundschleimhautveränderungen bis nach Abschluss der Behandlung, Schwangerschaft (insbesondere im 1. Trimenon), nicht abgeschlossenes kraniales Knochenwachstum, psychische Erkrankungen, Drogenabusus und eine unzureichende Mundhygiene. [123]

Verbleibende natürliche Zähne sollten vor Implantation saniert werden (Karies- und Parodontistherapie). Ein erhöhtes Risiko für einen Misserfolg besteht bei Zustand nach Radio- bzw. Chemotherapie, Diabetes mellitus, Parafunktionen, Osteoporose, Nikotin- und Alkoholabusus. [123]

2.4 Studienübersicht

Die Prävalenz wurzelkanalbehandelter Zähne und der Parodontitis apicalis wurden und werden auf der ganzen Welt erforscht. Allerdings variieren die Patientenkollektive stark. Die Ergebnisse können also nur Tendenzen anzeigen. Eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse besteht nicht.

Die größte Studie über wurzelkanalbehandelte Zähne und ihrer Überlebensrate wurde in den USA mit 1,1 Millionen Patienten aus 50 Staaten durchgeführt. Dabei lag die ermittelte Verlustrate im Zeitintervall von 8 Jahren bei nur 3 Prozent. 97 Prozent der Zähne waren bei Abschluss der Studie noch in situ. [114]

Eine 10 Jahre retrospektive Studie aus Deutschland (Münster, Dammaschke 2003) ermittelte für von Studenten wurzelkanalbehandelte Zähne eine 10 Jahres Überlebensrate von 85,1 %. [12]

Tabelle 1 gibt einen Überblick der wichtigsten internationalen Studien über die Prävalenz von Wurzelkanalfüllungen und apikalen Parodontitiden in chronologischer Abfolge, erhebt aufgrund der Vielzahl aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Folgende Unterscheidungsmerkmale bezüglich des Studiendesigns sollten bei der vergleichenden Betrachtung zur Rate gezogen werden:

- Größe des Patientenkollektivs
- Alter und geographische Herkunft der Patienten
- Art der Datenerfassung: klinisch/röntgenologisch
- Methodik und Kriteriendefinitionen
- Kenntnis und Fertigkeit der behandelnden Praktiker

Tabelle 1: Internationale epidemiologische Studien über die Prävalenz apikaler Parodontitiden und endodontischer Versorgungen

Autor (Jahr)	Land	Patienten	WK Zähne	Alter	AP %	WF %	WF + AP %
Kalender et al (2013) [59]	Zypern	1006	2200	18-50	5,5	8,9	62,0
Mukhaimer et al (2012) [93]	Palästina	258	855	17-62	15,1	13,2	59,5
Al-Omari et al (2011) [3]	Jordanien	294		16 +	11,6	5,7	
Özbaş et al (2011) [98]	Türkei	438		10 +	1,6	1,6	38
Peters et al (2011) [101]	Niederlande	178			7	4,8	
Covello et al (2010) [11]	Italien	384		18-60		11,4	41,6
Kim (2010) [65]	Südkorea	428	896	17 +			22,8-29,3
Tavares et al (2009) [131]	Frankreich	213	1035	18 +			33
Estrela et al (2008) [28]	Brasilien		1372	18 -60			16,5-66,3
Gulsahi et al (2008) [39]	Türkei	1000	812	16 +	1,4	3,3	18,2
Kayahan et al (2008) [60]	Türkei	280	1268				40,5
Segura-Egea et al (2008) [124]	Spanien	180		18 +	3 - 5	1,5-2,5	
Touré et al (2008) [133]	Senegal	208	162	18 +	4,6	2,6	59,6
Eckerbom et al (2007) [21]	Schweden	115	562	20 +	6,8	4,4	
Kirkevang et al (2006) [70]	Dänemark	473	697		3,7	5,6	44,3
Skudutyte-Rysstad et al (2006) [129]	Norwegen	146	61	35	1,1	1,5	43
Georgopoulou et al (2005) [33]	Griechenland	320	680	16 +	13,6	9,2	60
Kabak & Abott (2005) [58]	Weißrussland	1423	6339	15 +	12	20	45
Lofthus et al (2005) [82]	Irland	302	152	16 +	1,6	2	25
Siqueira et al (2005) [127]	Brazilien	1139	2051				50,3
Tsuneishi et al (2005) [136]	Japan	672	3320	20 +		20,5	40
Jiménez-Pinzón et al (2004) [56]	Spanien	180	93	18 +	4,2	2	64,5
Dugas et al (2003) [19]	Kanada	610	404		3,1	2,5	45,4
Boltacz-Rzepkowska & Pawlicka (2003) [7]	Polen	236	355	15 +			25
Boucher et al (2002) [8]	Frankreich	208	1023	18 +	7,4	19,1	29,7
Lupi-Pegurier et al (2002) [83]	Frankreich	344	1429	20 +	7,3	18,9	31,5
Kirkevang et al (2001) [68]	Dänemark	614	773	20 +	3,4	4,8	52,2
De Moor et al (2000) [14]	Belgien	206	314	18 +	6,6	6,8	40,4
Sidaravicius et al (1999) [126]	Litauen	147	319	35-45	7,2	8,2	35
Marques et al (1998) [87]	Portugal	179	67	30-39	2,0	1,5	21,7
Saunders et al (1997) [116]	Schottland	340	472		4,9	5,6	58,1
Weiger et al (1997) [139]	Deutschland	323	215	12 +	3,0	2,7	61
Buckley & Spångberg (1995) [10]	USA	208	290	6 +	4,1	5,5	31,3
Heppeler & Hülsmann (1994) [45]	Deutschland	200	155	20+		3,2	60
De Cleen (1993) [13]	Niederlande	184	97	18 +	6,0	2,3	39,2
Imfeld (1991) [53]	Schweiz	143	407	66	8,5	20,3	30,5
Ödesjö et al (1990) [95]	Schweden	967	1492	20 +	2,9	8,6	24,5

Patienten - Anzahl (n), **WK Zähne** – Anzahl wurzelkanalbehandelter Zähne (n), **Alter** – Patientenalter in Jahren (Range), **AP %** - Anteil apikaler Parodontitiden in Prozent, **WF %** - Anteil der Wurzelfüllungen in Prozent, **WF + AP %** - Anteil der wurzelkanalbehandelten Zähne mit apikaler Parodontitis in Prozent

Die ermittelten Werte für die Prävalenz der apikalen Parodontitis variierten stark von 1,1 bis 15,3 Prozent der Zähne. Auch der Anteil der wurzelkanalgefüllten Zähne schwankte je nach Studie von 1,5 bis 20,5 Prozent. Zwar war ebenfalls eine große Spannweite (16,5 bis 62 %) beim Anteil wurzelkanalbehandelter Zähne mit apikaler Aufhellung vorhanden, allerdings war dieser Wert in allen vorliegenden Studien höher als der Anteil apikaler Parodontitiden im Gesamtzahnbestand (1,1 bis 15,1 %)

Annähernd jeder fünfte Zahn war in Studien aus Japan, Frankreich, Weißrussland und der Schweiz wurzelkanalbehandelt [136; 8; 58; 53], wohingegen in der Türkei, Spanien und Portugal nur 2 % der Zähne eine solche Behandlung aufzeigten [98; 56; 124; 87].

Eine Erklärung und Interpretation dieser Ergebnisse ist nicht durch einfache geographische Bündelung oder das Veröffentlichungsjahr möglich, vielmehr sollten die zuvor genannten Kriterien hinzugezogen werden. So untersuchte Imfeld 1991 [53] nur 66 jährige Bewohner Zürichs, wohingegen Özbaş et al. 2011 [98] die Patienten der Universität Istanbul ab einem Alter von 10 Jahren evaluierten. Kleine Fallzahlen wie bei Jiménez-Pinzón et al (2004) [56] mit 180 Patienten stehen größeren Studien wie Kabak & Abott (2005) [58] mit 1.423 Patienten gegenüber.

Die hohe Prävalenz apikaler Parodontitiden an wurzelkanalbehandelten Zähnen von über 50 % [50; 139; 116; 68; 56; 127; 33; 133; 93; 59] zeigt den Handlungsbedarf in der Erforschung der Zusammenhänge und Ursachen der Entstehung einer apikalen Parodontitis und die Notwendigkeit von flächendeckenden Verbesserungen in der endodontischen Diagnostik und Behandlung.

In Kenntnis dieser Hintergründe sollen weitere Thesen im Rahmen der hier vorliegenden Studie zusätzlich überprüft werden:

- Geringere Prävalenz der Parodontitis apicalis an Zähnen mit adäquater Wurzelfüllung sowie suffizienter koronaler Versorgung gegenüber Zähnen an denen ein Faktor (Länge, Dichtigkeit, Koronale Versorgung) insuffizient ist
- Höhere Prävalenz der Parodontitis apicalis an wurzelkanalbehandelten Zähnen gegenüber endodontisch unversorgten Zähnen
- Anstieg der Zahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung und apikalen Parodontitiden mit zunehmendem Alter
- Kumulation der Zähne mit Wurzelkanalfüllungen und apikalen Parodontitiden in einer Teilgruppe
- Höhere Prävalenz der Parodontitis apicalis bei Männern gegenüber Frauen
- Höhere Prävalenz der 1. Molaren für eine Wurzelkanalbehandlung
- Höherer Anteil suffizienter Wurzelkanalfüllungen an Inzisiven als an Molaren
- Höherer Anteil von Aufbereitungsfehlern an Molaren gegenüber Inzisiven
- Höherer Anteil ungefüllter Kanäle an Molaren gegenüber Prämolaren

- Höherer Anteil suffizienter laborgefertigter koronaler Versorgungen gegenüber postendodontischen Füllungsversorgungen
- Höherer Anteil suffizienter Oberkieferbrücken gegenüber Unterkieferbrücken

3 Zielsetzung

Die vorliegende epidemiologische Studie untersucht die Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalbehandlungen sowie die Prävalenz von apikalen Parodontitiden in einer Münchner Population. Es handelt sich um eine deskriptive, retrospektive Querschnittsstudie anhand der im Jahr 2010 angefertigten Panoramaschichtaufnahmen der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.

3.1 Material und Methode

Es wurden insgesamt 2.912 Orthopantomogramme befundet. Dies entspricht der Gesamtzahl der im Jahr 2010 in der ZMK-Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München angefertigten Panoramaschichtaufnahmen. Die Röntgenbilder wurden von erfahrenen medizinisch-technischen Assistentinnen mit zwei Orthopantomographen Orthophos XG Plus DS der Firma Sirona erstellt. Die eingestellten Belichtungswerte lagen bei 64 bis 73 kV, 8 bis 15 mA.

Die Beurteilung der Röntgenbilder erfolgte an einem zuvor geeichten Bildschirm der Firma LG (FLATRON W2242PK). Mit Hilfe des Röntgenprogramms Sidexis XG konnten einheitliche Bedingungen für die Auswertung der Bilder geschaffen werden. Jedes Bild wurde maximiert und zur Erhöhung des Kontrasts schwarz hinterlegt. Die Befundung erfolgte in abgedunkelter Umgebung ohne störende Lichteinflüsse. Ergänzend wurde die Lupenfunktion (2:1) von Sidexis XG verwendet. Regelmäßige Pausen wurden eingehalten, um einer Augenermüdung entgegenzuwirken.

Ausschlusskriterien für die Studie waren Minderjährigkeit, Mehrfachaufnahmen innerhalb des Jahres 2010 und mangelhafte Bildqualität. Dabei wurden Bilder wegen technisch qualitativer Mängel nur dann ausgeschlossen, wenn aufgrund von großflächigen Artefakten oder genereller Unschärfe keine adäquate Beurteilung möglich war.

Für punktuelle Unschärfen, kleinflächige Artefakte und röntgenologische Überlagerungen wurde die Auswahlmöglichkeit „nicht beurteilbar“ bei der Einzelzahnbeurteilung geschaffen, um das Untersuchungsmaterial nicht unnötig zu schmälern.

Bei Mehrfachanfertigung von Panoramaschichtaufnahmen innerhalb des Jahres 2010 wurde die erste Aufnahme verwendet, die weiteren aber ausgenommen, um eine Überrepräsentierung dieser Patienten auszuschließen.

Weiterhin wurden alle Patienten, die im Untersuchungszeitraum jünger als 18 Jahre alt waren, nicht bewertet. Diese Einschränkung stellte den dentalen Status Erwachsenenalter bei allen Befunden, gekennzeichnet durch den Abschluss der Wechselgebissphase und des Wurzelwachstums. Denn der Abschluss des Wurzelwachstums ist im Schnitt erst drei bis vier Jahre nach der Zahneruption zu erwarten, wobei die

2. Molaren als letzte Zähne der bleibenden Dentition, ausgenommen der Weisheitszähne, in der Regel erst im Alter von 12 bis 14 Jahren durchbrechen [74].

Bewusst eingeschlossen in die Untersuchung wurden zahnlose Patienten und auch die Erhebung der 3. Molaren, um eine vollständige Erhebung des Zahnstatus aller Erwachsenen in der Studienpopulation zu realisieren.

Für diese Studie wurden alle Panoramaschichtaufnahmen ausschließlich von der Verfasserin befundet. Die Kriterien für die Beurteilung wurden zusammen mit dem endodontisch spezialisierten Betreuer dieser Studie, Dr. Christian Diegritz von der Abteilung Zahnerhaltung an der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München, auf Basis des zuvor durch Literaturrecherche erarbeiteten wissenschaftlichen Sachstands definiert.

Zum Kalibrieren der Auswertungsqualität untersuchte die Verfasserin 25 ausgewählte Panoramaschichtaufnahmen zweimal im Abstand von zwei Monaten. Die Reproduzierbarkeit dieser Ergebnisse wurde mit Hilfe des Kappa-Wertes dokumentiert.

Die Referenzbilder zur Beurteilung der Periapikalregion waren bei der Befundung verfügbar. Regelmäßiger Austausch und Rücksprachemöglichkeiten mit dem Betreuer bei unklaren Befunden waren zu jeder Zeit gegeben.

Nach Abschluss der Befundung wurden anhand einer randomisierten Stichprobe 5 % der Panoramaschichtaufnahmen von der Untersucherin nachbefundet und der Kappa Cohen für die intraobserver variability berechnet. Er lag zwischen 0,82 bis 0,89 je nach Kategorie und bestätigte „almost perfect agreement“ nach Landis und Koch [78]. Genaue Verteilung der Kappa-Werte wie folgt: Dichtigkeit: 0,845; Länge zum Apex: 0,854; PAI: 0,825; Aufbereitungsfehler: 0,886; Qualität der koronalen Versorgung: 0,896

Außerdem wurde diese Stichprobe von Herrn Dr. Diegritz als Zweituntersucher ebenfalls beurteilt. Der Kappa Cohen für die interobserver variability lag bei 0,879.

Die Ergebnisse der röntgenologischen Befundung wurden in eine dafür erstellte Access-Datenbank eingepflegt (siehe Abb. 5). Dabei wurden nach der Grundentscheidung über die Beurteilbarkeit der Panoramaschichtaufnahmen zuerst die Kriterien Alter, Geschlecht, Zahnanzahl und Zahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung erhoben. Der Schwerpunkt lag im Folgenden auf den endodontisch behandelten Zähnen. Diese wurden jeweils nach zehn Kriterien beurteilt. Größtenteils standen vorgegebene Merkmalsausprägungen zur Verfügung, um mögliche Fehleingaben durch Freitext zu minimieren. Bei freien Zahleneingaben (zum Beispiel Alter der Patienten und Zahl der Zähne) waren die Eingabefelder entsprechend formatiert und es erfolgten Warnhinweise bei Fehleingabe, z.B. dreistelliger Zahnzahl.

Auswertung OPG 2010

21611	04.01.2010	11.05.1952
21613	04.01.2010	04.08.1984
21623	04.01.2010	08.03.1971
21635	04.01.2010	17.12.1987
21652	04.01.2010	10.11.1949
21672	04.01.2010	30.07.1999
21686	05.01.2010	13.06.1980

Nr. 21611 Geburtsdatum 11.05.1952 Aufnahmezeitpunkt 04.01.2010 09:02:44 Geschlecht m

Alter in Jahren 39 Anzahl der Zähne mit apikaler Parodontitis 1 Ausschluss: nein

Anzahl der Zähne 26 Anzahl der Zähne mit Wurzelfüllungen 0

Beurteilung der Wurzelfüllungen im OPG

Zahn	Zahnart	Dichtigkeit	Länge	PAI	ungefüllte Kanäle	Aufbereitungsfehler	koronale Versorgung	Qualität der koronalen Versorgung	Stift
					<input type="checkbox"/>				

Datenbank erstellt von Dr. K.Brüshaver

Abb. 5: Ansicht der Benutzeroberfläche der Access-Datenbank

Die Einordnung des wurzelkanalbehandelten Zahns nach dem FDI-Zahnschema in Quadrant und Position von 18 bis 48 erfolgte zuerst, darauf die Zuordnung in die Zahnart von 1. Inzisivus bis 3. Molar.

Die nachfolgende Bewertung der Kriterien richtete sich bei mehrwurzligen Zähnen immer wie in den anderen Studien üblich nach dem schlechtesten Befund.

Alle röntgenologischen Befunde dieser Studie sind dabei als Opazitäten und Transluszenzen im Sinne einer/eines – ergänzt um die Diagnose - zu verstehen und werden zur besseren Lesbarkeit sprachlich vereinfacht. Beispielsweise wird der Befund einer Transluzenz an der Wurzelspitze begrifflich als apikale Parodontitis beschrieben.

In diesem Sinne wurden die Wurzelkanalfüllungen nach Dichtigkeit, Homogenität und Länge beurteilt. Zur Auswahl standen dabei die Merkmale „dicht und homogen“, „undicht und/oder inhomogen“ und „nicht beurteilbar“. Bezüglich der Länge wurde eine adäquate Wurzelkanalfüllung als „flush“ (passend), eine zu kurze als „short“ und ein überfüllter Zahn als „long“ beurteilt.

Weiterhin wurden ungefüllte Kanäle und Aufbereitungsfehler evaluiert. Bei ersteren nur das Vorhandensein derselben, bei zweiten wurde unterschieden in „Instrumentenfraktur“, „Perforation“, „Strip/Ledge“, „nicht beurteilbar“ und „nein“.

Die koronale Versorgung wurde nach Art und Qualität beurteilt. So ergaben sich die Optionen „Füllung“, „Krone“, „Brückenanker“, „Teleskop“ und „unversorgt“, sowie „akzeptable“, „inakzeptable“ und „nicht beurteilbare“ koronale Versorgungen. Zusätzlich wurde das Vorhandensein einer Stiftversorgung erfasst.

Die apikale Situation der endodontisch behandelten Zähne wurde mit Hilfe des periapikalen Index beurteilt: von „1“ gesunde Apikalregion bis „5“ ausgeprägte apikale Parodontitis mit ausbreitender Tendenz. An nicht endodontisch behandelten Zähnen wurde erst die manifeste apikale Parodontitis ab einem periapikalen Index von 3 evaluiert. Abschließend wurde die Anzahl aller Zähne mit apikaler Parodontitis je Panoramaschichtaufnahme erhoben. Dazu wurden die endodontisch unbehandelten Zähne mit PAI ≥ 3 und die wurzelkanalbehandelten Zähne mit PAI ≥ 3 addiert.

3.2 Kriterien und Merkmalsausprägungen

Die Kriterien zur Einzelzahnbewertung und ihrer Merkmalsausprägungen wurden vor der Untersuchung wie folgt festgelegt. Die Beispielbilder stammen aus dem Studienkollektiv und dienen der Veranschaulichung. Gleichwohl ist nur der den Textabschnitt betreffende Befund in den Bildunterschriften vermerkt um die Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Die entsprechende Patientenzuordnung als Abbildungsherkunft liegt den Prüfärzten vor, wird aber aufgrund Datenschutzbestimmungen nicht veröffentlicht.

3.2.1 Zahn und Zahnposition

Als Zahn wird jede zahnartige Aufhellung vom Wurzelrest bis zum unversehrten Zahn gezählt. Weisheitszähne werden als gleichwertige Zähne aufgefasst. Implantate und deren apikaler Status sind nicht Teil der Erhebung (vgl. Abb. 6).

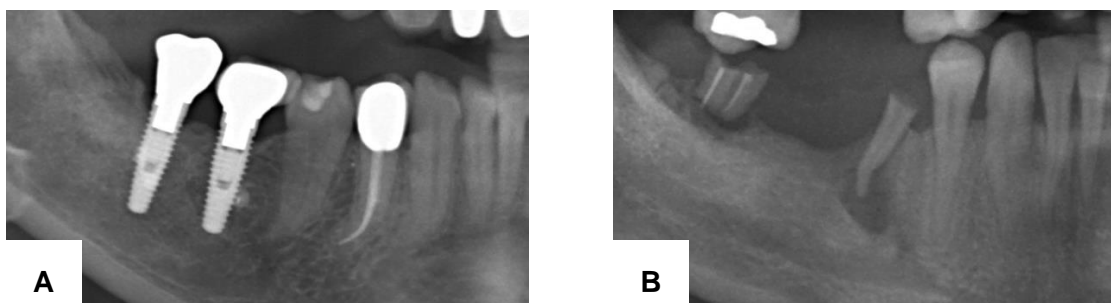


Abb. 6 a und b: Bandbreite des Versorgungsgrades innerhalb der Studie, a hochwertig, b insuffizient und unversorgt

Bei unklarer Einordnung der Zahnposition (1. Inzisivus bis 3. Molar) erfolgt ein Vergleich zur Gegenseite im Kiefer. Anatomische wie auch therapeutische Hintergründe werden zur Entscheidungsfindung herangezogen. So deuten vier fehlende Prämolaren mit Lückenschluss auf eine kieferorthopädische Extraktionstherapie der bleibenden 1. Prämolaren hin. Die verbleibenden Prämolaren würden folglich als 2. Prämolaren

eingruppiert werden. Ebenso sind bei Lückengebissen mögliche Zahnwanderungen zu bedenken. So zum Beispiel bei frühem Verlust des 1. Molaren die Mesialkipfung des 2. und 3. Molaren bzw. kieferorthopädische Einstellung der Situation. Einen Anhaltspunkt gibt neben der Zahnachse auch die Wurzelanatomie (z.B. Pfahlwurzel bei 8ern).

3.2.2 Wurzelkanalfüllung

Die Dichtigkeit und Homogenität der Wurzelkanalfüllung werden gemeinsam beurteilt. Als dicht gilt eine randständige Wurzelkanalfüllung, als homogen eine gleichmäßig opake Wurzelkanalfüllung ohne strukturelle Unterbrechungen. (Abb. 7)

Ist mindestens eines der beiden Unterkriterien nicht gegeben, wird die Wurzelkanalfüllung als „undicht und/oder inhomogen“ eingruppiert. Ein ungefüllter Kanal wird folglich auch als „undicht und/oder inhomogen“ beurteilt.

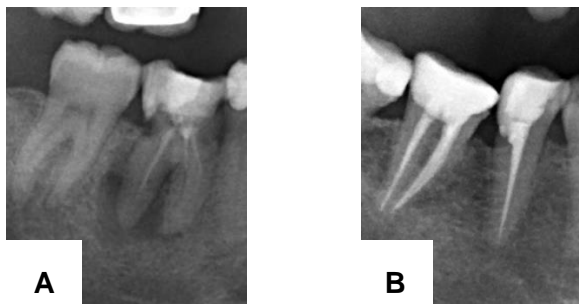


Abb. 7 a-b: Kriterium Dichtigkeit, a undicht und inhomogen, b dicht und homogen

Als „flush“ wird eine Wurzelkanalfüllung bezüglich der Länge beurteilt, die gemäß der Metaanalyse von Schaeffer et al. 2005 [117] maximal 1 mm vom röntgenologischen Apex entfernt abgebildet ist. Eine Entfernung größer als 1 mm vom Apex wird als „short“ definiert, das Hinausragen über den röntgenologischen Apex und apikale Sealerpuffs als „long“. (Abb. 8)

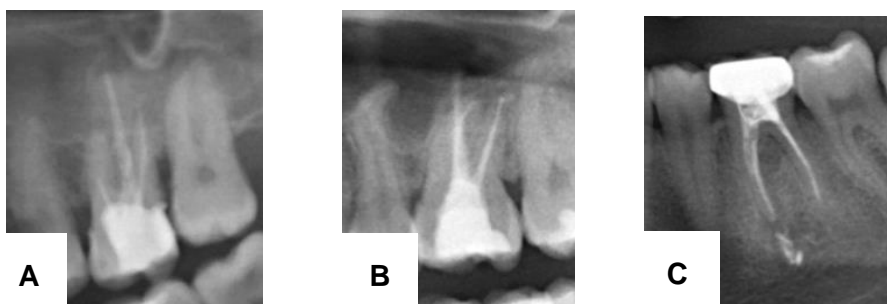


Abb. 8 a-c: Kriterium Länge; a mesialer Kanal „short“, b alle Kanäle „flush“, c mesialer Kanal „long“

Liegt an einem Zahn ein ungefüllter Kanal vor, wird dieser zunächst als „short“ und „undicht“ klassifiziert und zusätzlich mit dem Kriterium „ungefüllter Kanal“ (Abb. 9).

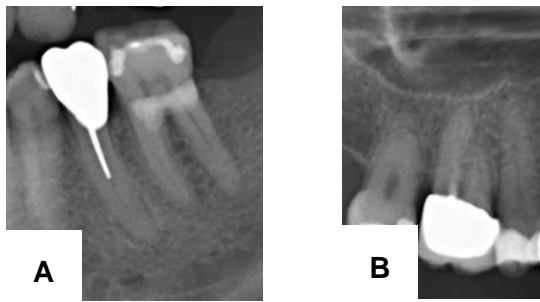


Abb. 9 a-b: Kriterium ungefüllter Kanal, a nur Stift ohne Wurzelkanalfüllung, b mehrere ungefüllte Kanäle

Ebenfalls werden röntgenologisch sichtbare Aufbereitungsfehler erhoben. Dazu zählt die „Instrumentenfraktur“, zu der alle Instrumente oder Bruchstücke derselben zählen, die im Wurzelkanal verblieben sind (Abb. 10). Instrumentenfrakturen können dabei wegen Über- oder Fehlbeanspruchung (torsional failure) aufgrund Ermüdung (ductile failure) oder Materialfehlern entstehen. [49]

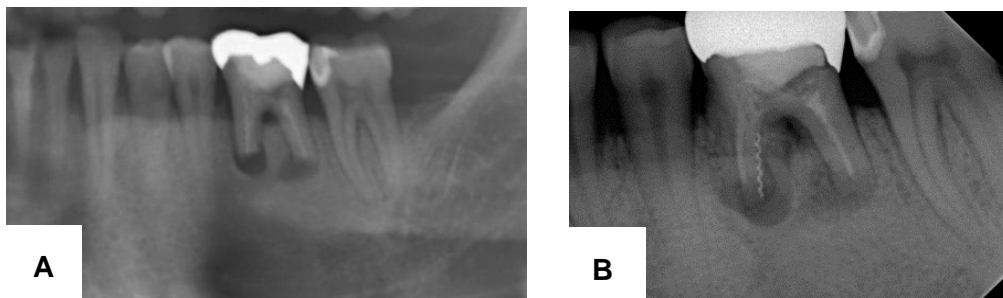


Abb. 10 a-b: Kategorie Aufbereitungsfehler „Instrumentenfraktur“, a im OPG, b im Zahnfilm

Vorhandene „Perforationen“ im Sinne eines ungewollten Gewebedurchbruchs durch den Pulpenboden oder vom Kanalverlauf Richtung Parodont werden erfasst (Abb. 11).

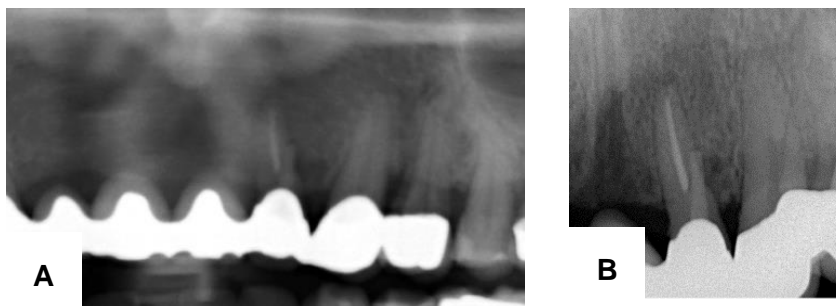


Abb. 11 a-b: Kategorie Aufbereitungsfehler „Perforation“, a im OPG, b im Zahnfilm

Aber auch eine Begradigung des Kanalverlaufs und/oder Stufenbildung innerhalb eines Kanalsystems werden als Aufbereitungsfehler der Kategorie „strip/ledge“ vermerkt (Abb. 12).

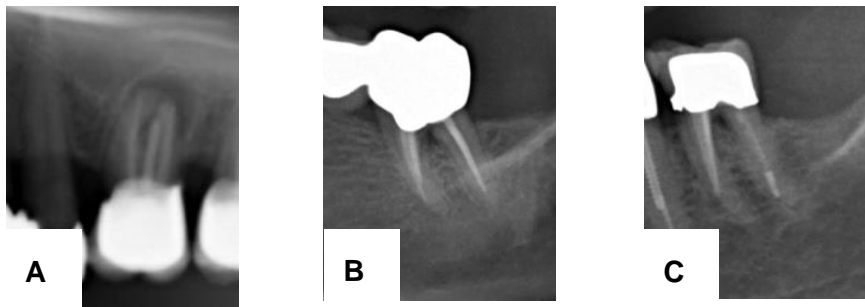


Abb. 12 a-c: Kriterium strip/ledge, a Begradigung, b und c Stufenbildung

3.2.3 Stift und koronale Versorgung

Weiterhin wird eine Versorgung mittels adhäsivem Stift oder Metallstift vermerkt (Abb. 13). Ein nicht achsgerechter Stift wird zusätzlich zu den Aufbereitungsfehlern der Kategorie „Strip/ledge“ gezählt. Die seltenen Fälle der Wurzelkanalfüllungen mit Silberstiften werden entsprechend den Kriterien für die Wurzelfüllung nicht aber als Stift eingeordnet.

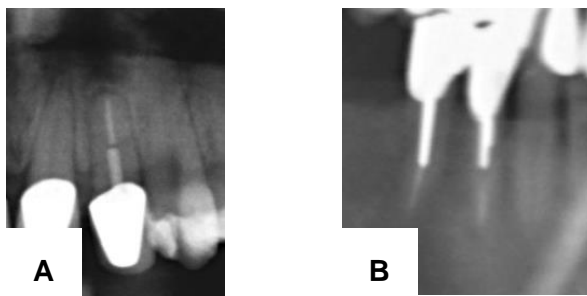


Abb. 13 a-b: Kategorie Stift, a adhäsiv, b gegossen

Hat ein Zahn einen ungefüllten Kanal, der jedoch einen Stift beinhaltet wird die Wurzelfüllung wie gehabt als „short“ und „undicht“ tituliert, das Kriterium „ungefüllter Kanal“ kommt aber nur bei einer Stiftlänge kleiner $\frac{2}{3}$ der Wurzellänge hinzu.

Die koronale Situation eines wurzelkanalbehandelten Zahnes wird als „inakzeptabel“ beurteilt, wenn die Abdichtung des Kanalsystems gegenüber der Bakterien der Mundhöhle nicht gewährleistet ist (Abb. 14). Dies kann vorliegen in Form von Kariesneubildung, Sekundärkaries, Randspalt der Versorgung oder einer fehlenden koronalen Versorgung. Beispiele suffizienter Versorgungen zeigen Abb. 15 a-c, aber auch überkonturierte Versorgungen und Stumpfdeckungen (Nonokklusion) werden in dieser Studie als „akzeptabel“ beurteilt, da die Suffizienz der Versorgung bei dieser Erhebung im Vordergrund steht.

Alle mit Füllungsmaterialien versorgten Zähne werden unter „Füllung“ zusammengefasst. Inlays, Teilkronen und Vollkronen aller Materialien fallen unter

„Krone“. „Brückenanker“ und „Teleskope“ werden wegen der besonderen Belastungssituation in eigenen Kategorien erfasst. Stege werden zu den Brückenankern hinzugezählt. Zähne ohne koronale Versorgung werden eigens in der Kategorie „unversorgt“ evaluiert.

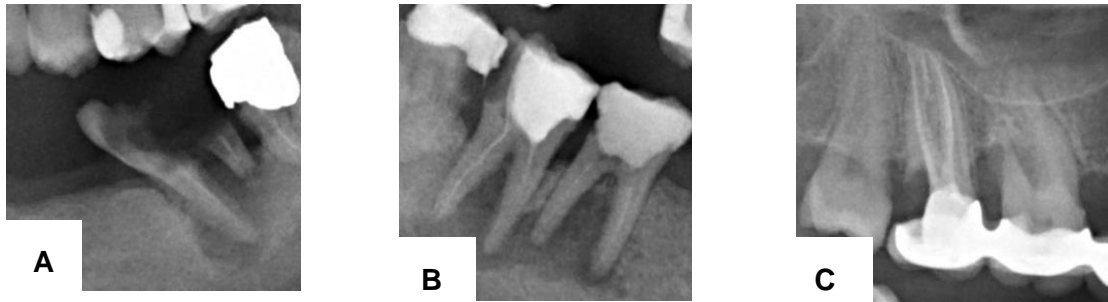


Abb. 14 a-c: Kategorie koronale Versorgung und Qualität, a unversorgt, inakzeptabel, b Füllung, inakzeptabel, c Brücke, inakzeptabel

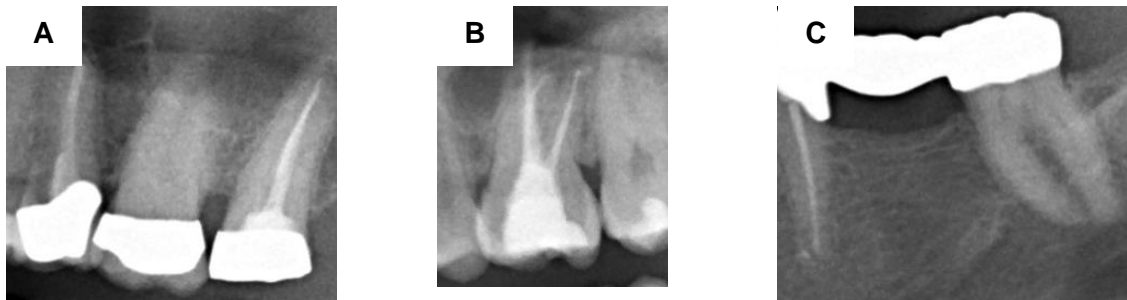


Abb. 15 a-c: Kriterium koronale Versorgung und Qualität, a Krone, akzeptabel, b Füllung, akzeptabel, c Brücke, akzeptabel

3.3.4 Periapikale Umgebung

Die apikale Situation wird über den PAI-Score nach Ørstavik definiert und befundet. So ergeben sich die PAI Werte von „1“ normale periapikale Strukturen, „2“ geringe Veränderungen der knöchernen Struktur, über „3“ Veränderung der knöchernen Struktur mit Verlust an Mineralien und „4“ gut definierte radioluzente Struktur bis „5“ ausgeprägte apikale Parodontitis mit ausbreitender Tendenz (Abb. 16).

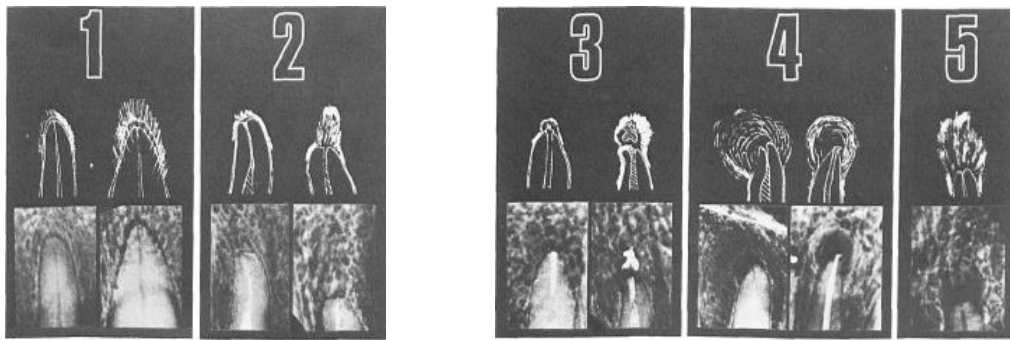


Abb. 16: Referenzbilder für den periapikalen Index (PAI) nach Ørstavik [97]

Weiterhin wird die Summe aller Zähne einer Panoramaschichtaufnahme mit apikaler Parodontitis, also PAI Werten ≥ 3 , erfasst. Dazu werden die Ergebnisse der Einzelzahnauswertung mit den Zähnen mit apikalen Osteolysen ohne Wurzelkanalbehandlung addiert (Abb. 17).

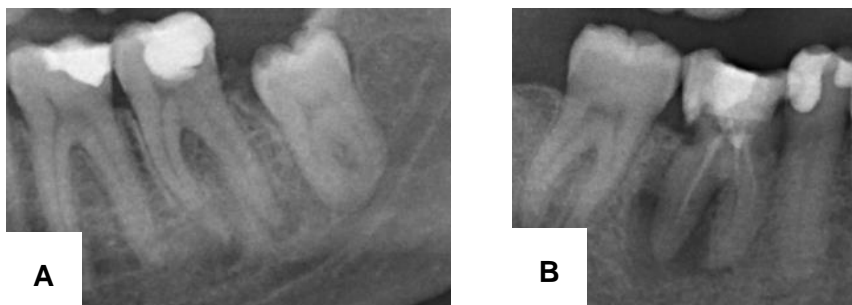


Abb. 17 a-b: Kriterium „apikale Parodontitis“, a tiefe Füllung und apikale Aufhellung (PAI 4), b insuffiziente Wurzelfüllung und apikale Aufhellung (PAI 5)

Wurzelspitzenresizierte Zähne werden analog zu den „nur“ wurzelkanalbehandelten Zähnen befundet. PAI-Werte von 1 bis 5 sind in Abhängigkeit zum Ausheilungsgrad nach dem chirurgischen Eingriff möglich.

Die Auswahlmöglichkeit „nicht beurteilbar“ wurde in den Kategorien Dichtigkeit, Länge, PAI, Aufbereitungsfehler, koronale Versorgung, Qualität der koronale Versorgung und Stift geschaffen, um an Zähnen mit lokalen Unschärfen des Bildes, Überlagerungen und Artefakten passgenau nur die nicht beurteilbaren Kriterien ausschließen zu können.

4 Ergebnisse

Die Auswertung der 2.912 Panoramaschichtaufnahmen erfasste den dentalen und insbesondere endodontischen Status wie auch demographische Daten des Patientenkollektivs aus der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München. Der Schwerpunkt lag auf der qualitativen und quantitativen Auswertung der endodontisch behandelten Zähne und der Erhebung des apikalen Status.

4.1 Patientenbezogene Befunde

Zunächst werden die Befunde vorgestellt, die sich auf den Patienten beziehen, also Ausschlussgründe, Alters- und Geschlechtsverteilung, Zahnstatus und Anteil der Zähne mit apikaler Parodontitis und Wurzelkanalfüllungen.

4.1.1 Ausschlusskriterien

Nach sorgfältiger Prüfung der 2.912 Röntgenbilder wurden 338 Bilder ausgeschlossen. Die Hauptgründe für den Ausschluss waren Milch- bzw. Wechselgebisse (5,4 %) und Mehrfachanfertigungen innerhalb des Untersuchungszeitraumes (5,3 %). Mangelhafte Bildqualität, Testbilder und Kiefergelenksaufnahmen führten deutlich seltener zum Ausschluss (0,9 %). 2.574 Bilder wurden in die Studie aufgenommen, bei denen kein Ausschlussgrund vorlag. Das waren 88,4 % der Röntgenbilder des Jahres 2010.

4.1.2 Alters- und Geschlechtsverteilung

Die Altersstruktur der Studienpopulation wurde in Dekaden eingeteilt. Einzig die jüngste Gruppe umfasste nur acht Jahre, also das Alter von 18 bis 25, danach folgten die Gruppierungen aufsteigend in 10-Jahres-Intervallen bis zum 75. Lebensjahr. Ab einem Alter von 76 Jahren sank die Anzahl der Patienten deutlich, sodass diese in eine Gruppe zusammengefasst wurden (76+).

Das mittlere Alter lag bei 52,66 Jahren (Standardfehler 0,318). Der Median bei 54 Jahren, sowie die Standardabweichung bei 16,158. Der älteste Patient dieser Studie war 94 Jahre alt, der jüngste 18 Jahre. Die 56- bis 65- Jährigen bildeten die größte Gruppe mit 22,21 %. Die Prüfung der Verteilung der Patientenpopulation in Bezug auf das Alter ergab, dass diese nicht normalverteilt ist, sondern eine rechtssteile Verteilung aufweist (Abb. 18). Dies wurde durch den Kolmogorov-Smirnov-Test ebenso durch den Shapiro-Wilk-Test bestätigt.

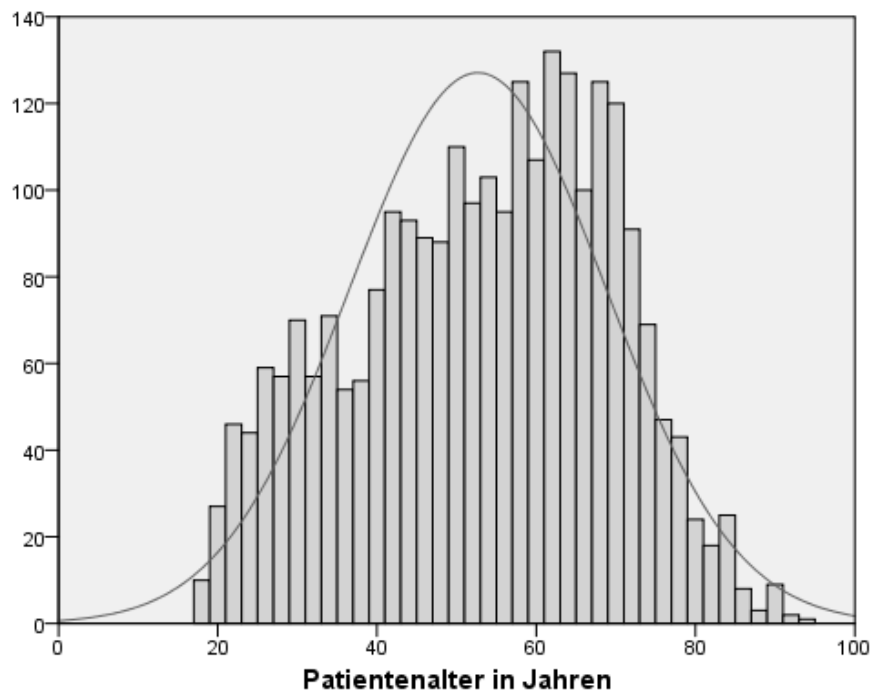


Abb. 18: Altersverteilung in der Studienpopulation

Der männliche Populationsanteil lag mit 51,48 % geringfügig höher als der weibliche mit 48,52 %. Die Verteilung des Patientengutes nach Alter und Geschlecht ist signifikant ($p=0,004$) und in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Alters- und Geschlechtsverteilung der Studienpopulation

	Geschlecht		Summe
	weiblich	männlich	
18 bis 25 Jahre	75	84	159 (6,2%)
26 bis 35 Jahre	151 ^a	152	303 (11,2%)
36 bis 45 Jahre	158 ^{b,c,d}	241	399 (15,5%)
46 bis 55 Jahre	243	251	494 (19,2%)
56 bis 65 Jahre	302	267	569 (22,1%)
66 bis 75 Jahre	249	245	494 (19,2%)
76 Jahre und älter	71	85	156 (6,1%)
Summe	1249	1325	2574 (100%)

^a statistisch signifikanter Unterschied zw. 26-35 Jahren und 36-45 Jahren ($p=0,007$)

^b statistisch signifikanter Unterschied zw. 36-45 Jahren und 46-55 Jahren ($p=0,004$)

^c statistisch signifikanter Unterschied zw. 36-45 Jahren und 56-65 Jahren ($p<0,001$)

^d statistisch signifikanter Unterschied zw. 36-45 Jahren und 66-75 Jahren ($p=0,001$)

4.1.3 Zahnzahl

Ebenfalls anhand dieser Altersskalierung wurde die Zahnzahl eingeteilt. Die Verteilung des Mittelwertes der Anzahl der Zähne ist in

Tabelle 3 dargestellt. Im Schnitt hatte der Patient dieser Studie 22,8 Zähne. Der Wert sank von der Altersgruppe 18-25 Jahre von 29,9 Zähnen kontinuierlich ab und lag in der Altersgruppe von 76 Jahren und älter bei 14,8 Zähnen. Der Wert von 29,9 Zähnen zeigte, dass in der Gruppe der 18-25 Jährigen im Schnitt noch mehr als 28 Zähne vorhanden waren. In der Altersgruppe der 36-45 Jährigen lag der mittlere Zahnbestand erstmals unter 28 Zähnen.

Tabelle 3: Arithmetisches Mittel der Zahnanzahl nach Altersgruppen

	Anzahl der Zähne		
	Mittelwert		
	Männer	Frauen	Summe
18 bis 25 Jahre	29,8	30,1	29,9
26 bis 35 Jahre	28,2	28,3	28,3
36 bis 45 Jahre	25,3	25,6	25,4
46 bis 55 Jahre	23,7	23,4	23,5
56 bis 65 Jahre	20,5	21,4	21,0
66 bis 75 Jahre	19,3	19,1	19,2
76 Jahre und älter	15,1	14,6	14,8
Mittelwert	22,8	22,9	22,9

Innerhalb der Altersgruppen lag eine große Streuung der Zahnzahl auf den Orthopantomogrammen vor. Das Boxplot-Diagramm (Abb. 19) veranschaulicht die Minimum- und Maximumwerte, den Median sowie Ausreißer bezüglich der Zahnzahl mit Hilfe von Symbolen (Kreis, Stern) mit ihrer Datensatznummer.

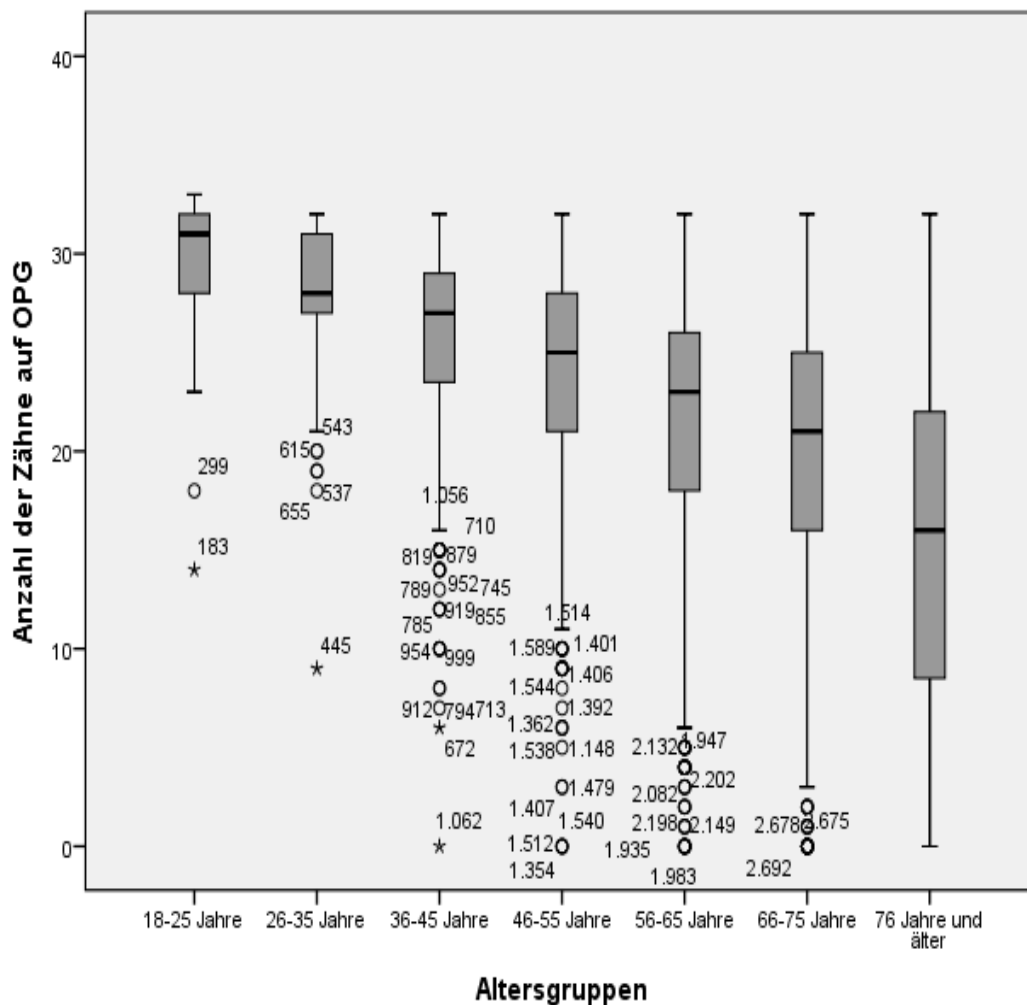


Abb. 19: Boxplot-Diagramm Zahnzahl zu Altersgruppe

4.1.4 Apikale Parodontitis

Betrachtet man die apikale Situation des Gebisses, wurden Werte des Periapical Index von 3 bis 5 als apikale Parodontitis eingestuft. 31,70 % aller Patienten wiesen keinen Zahn mit einem PAI > 2 auf. 26,92 % hingegen einen Zahn mit apikaler Parodontitis und 16,78 % zwei Zähne mit einem PAI \geq 3. Die Gruppe der Patienten mit einer hohen Anzahl an Zähnen mit apikaler Parodontitis (5 bis 16 Nennungen) beschränkte sich auf 7,74 % der Studienpopulation (Abb. 20). Die größte Häufung apikaler Parodontitiden lag bei 16 und kam bei einem Patienten vor. Bemerkenswert ist dabei, dass über zwei Drittel der Patienten mindestens einen Zahn mit apikaler Parodontitis zeigten (n=1758; 68,3 %).

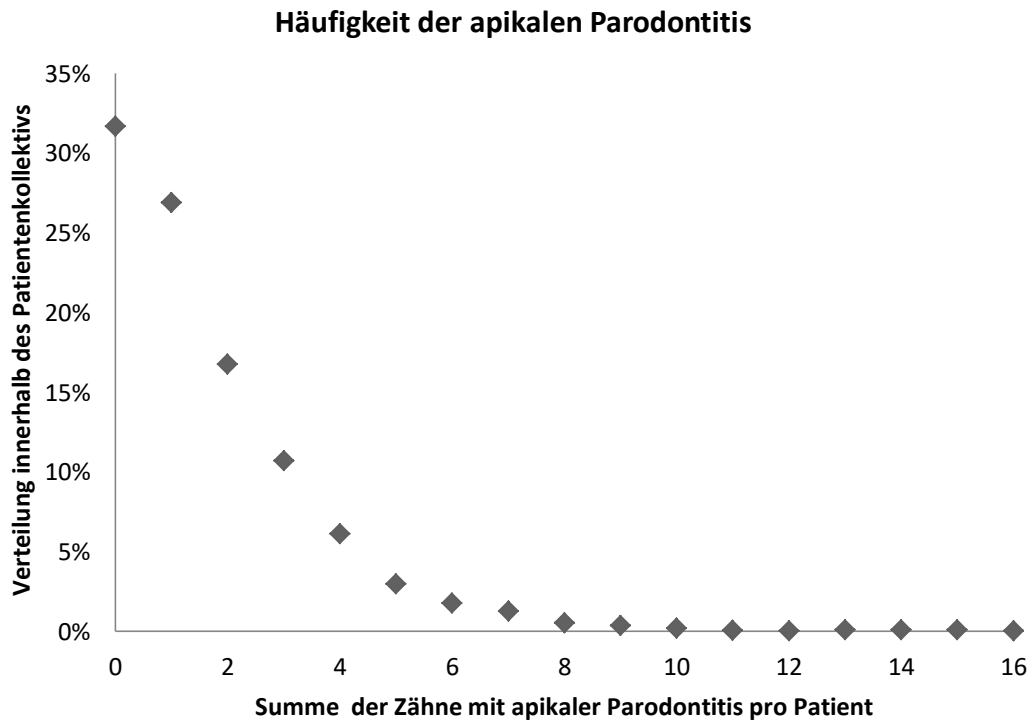


Abb. 20: Verteilung der apikalen Parodontitis innerhalb des Patientenkollektivs

Bezüglich des einzelnen Zahnes lag die Prävalenz der apikalen Parodontitis bei 7,39 %. Aufgeschlüsselt nach Altersgruppen zeigte sich eine zunehmende Tendenz mit steigendem Lebensalter von 3,85 % in der jüngsten Altersgruppe bis 11,45 % bei den Patienten ab 76 Jahren. Dabei wurde die apikale Parodontitis sowohl an wurzelkanal-behandelten als auch an endodontisch unversorgten Zähnen gezählt.

Die apikale Parodontitis war nicht normalverteilt und die Standardabweichung betrug 1,972 (Median 1,0; Mittelwert 1,69; Standardfehler Mittelwert 0,39) (Tabelle 4).

Tabelle 4: Anzahl der Zähne mit apikaler Parodontitis je OPG

Anzahl der Zähne mit apikaler Parodontitis je OPG					
	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
18-25 Jahre	1,15	2,007	0,00	0	9
26-35 Jahre	1,42	1,854	1,00	0	11
36-45 Jahre	1,75	1,927	1,00	0	11
46-55 Jahre	2,01	2,143	1,00	0	16
56-65 Jahre	1,72	1,902	1,00	0	15
66-75 Jahre	1,63	1,946	1,00	0	15
76+ Jahre	1,70	1,812	1,00	0	9
Gesamtpopulation	1,69	1,972	1,00	0	16

Männer hatten in allen Altersgruppen außer in der Gruppe „76 und älter“ eine höhere Prävalenz für apikale Parodontitiden. Das Quotenverhältnis (Odds Ratio) zwischen dem Geschlecht und dem Vorhandensein mindestens einer apikalen Aufhellung lag bei 1,18 für die Männer im Verhältnis zu den Frauen ($p=0,051$). Die Betrachtung der Altersgruppen ergab ein signifikantes Quotenverhältnis der 18 bis 25 jährigen Patienten von 2,125 ($p=0,025$). Alle anderen Gruppen wiesen keine signifikante Verteilung auf.

Abb. 21 setzt die Zähne mit apikaler Parodontitis in Relation zur Gesamtzahnzahl aufgeteilt nach Männern und Frauen sowie der Altersklassen.

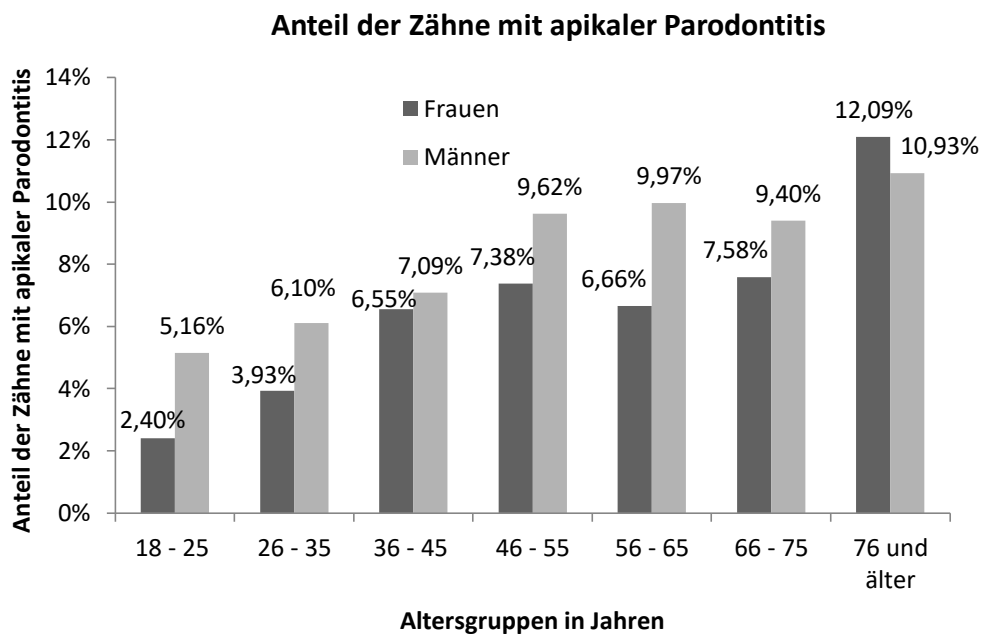


Abb. 21: Anteil der Zähne mit apikaler Parodontitis in den Altersgruppen und Geschlechtern

Tabelle 5 hingegen beinhaltet alle Patienten mit mindestens einer apikalen Parodontitis und zeigt die Verteilung innerhalb der Altersgruppen und Geschlechter. Dabei liegt der Anteil der Patienten in allen Gruppen zwischen 50,0 und maximal 76,9 %, einzig bei den Frauen zwischen 18 und 25 Jahren haben deutlich weniger (32,0 %) mindestens eine apikale Parodontitis.

Tabelle 5: Patienten mit mindestens einer apikalen Parodontitis nach Alter und Geschlecht

	Altersgruppen in Jahren							
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76+	Summe
männlich								
n	42	98	165	193	194	177	59	928
%	50,0	64,5	68,5	76,9	72,7	72,2	69,4	70,0
weiblich								
n	24	82	115	183	200	177	49	830
%	32,0	54,3	72,8	75,3	66,2	71,1	69,0	66,5

4.1.5 Wurzelkanalbehandelte Zähne

Das Vorhandensein von Wurzelkanalfüllungen war nicht normalverteilt. Der Mittelwert lag bei 1,80 Zähnen mit Wurzelkanalfüllung pro Patient (Median 1,0; Standardfehler Mittelwert 0,40; Standardabweichung 2,053). Die genaue Verteilung innerhalb der Altersgruppen zeigt Tabelle 6. Der Maximalwert von 13 Wurzelkanalfüllungen wurde in der Gruppe der 46 bis 55 Jährigen erfasst. In allen Altersgruppen waren auch Patienten ohne Wurzelkanalfüllung vorhanden.

Tabelle 6: Anzahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung je OPG

Anzahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung je OPG					
	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
18-25 Jahre	0,48	1,024	0,00	0	5
26-35 Jahre	1,23	1,649	1,0	0	10
36-45 Jahre	1,85	1,977	1,00	0	11
46-55 Jahre	2,13	2,265	2,00	0	13
56-65 Jahre	1,99	2,084	1,00	0	11
66-75 Jahre	1,97	2,072	1,00	0	11
76+ Jahre	1,78	2,159	1,00	0	10
Gesamtpopulation	1,80	2,053	1,00	0	13

Der Anteil der wurzelkanalbehandelten Zähne zur Gesamtzahl lag in den höheren Altersgruppen höher. In der Gruppe der 18-25 jährigen waren nur 1,62 % der Zähne wurzelkanalbehandelt, mit 26-35 Jahren schon 4,34 %, mit 36-45 Jahren dann 7,29 %, mit 46-55 Jahren 9,07 %, mit 56-65 Jahren 9,50 % mit 66-75 Jahren 10,25 % und älter dann ein Anstieg auf 12,01 %.

Im Durchschnitt aller Altersklassen waren damit 7,87 % aller Zähne wurzelkanalbehandelt. Je nach Altersklasse lagen die Werte der Frauen leicht über bzw. unter denen der Männer. Bei den Frauen waren im Durchschnitt 8,11 % der Zähne wurzelkanalbehandelt bei den Männern waren es 7,64 %.

Patientenbezogen betrachtet hatten 21,8 % der Patienten eine Wurzelkanalfüllung, zwei 14,7 %, drei 11,7 % und vier 6,1 %. Mehr als vier Wurzelkanalfüllungen kamen bei 10,7 % der Personen vor (Range 5–13). Der Anteil der Patienten ohne Zahn mit Wurzelkanalfüllung lag bei 34,7 %.

Zwei Fünftel aller Zähne mit apikaler Parodontitis hatten zuvor schon eine Wurzelkanalbehandlung ($n=1805$), drei Fünftel waren nicht endodontisch behandelt ($n=2542$). Anders ausgedrückt waren 4 Prozent aller endodontisch nicht behandelten Zähne, aber 39 Prozent aller endodontischen Zähne apikal auffällig (PAI 3-5). Nur knapp jeder 5. Patient (18,10 %) hatte weder eine Wurzelkanalbehandlung noch eine apikale Entzündung. Von den Patienten ohne Wurzelkanalfüllungen waren wiederum 52,18 % apikal gesund bezüglich aller Zähne. Dem gegenübergestellt sei die Zahl von 32,70 % der Patienten ohne apikale Entzündung im gesamten Studienkollektiv. Abb. 22 zeigt die altersspezifische Verteilung wurzelkanalbehandelter Zähne der Frauen gegenüber den Männern.

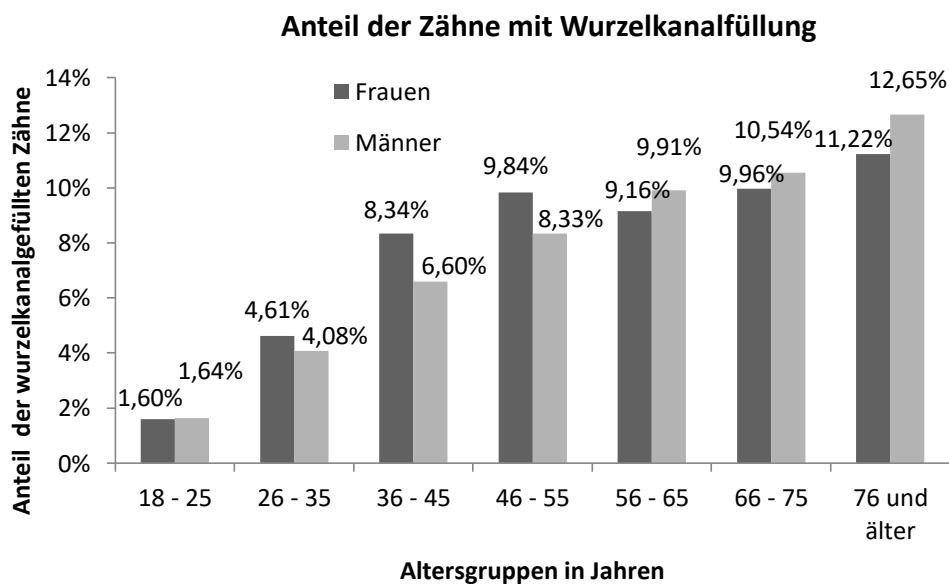


Abb. 22: Anteil der wurzelkanalgefüllten Zähne in den Altersgruppen und Geschlechtern

Tabelle 7 beinhaltet alle Patienten mit mindestens einer Wurzelkanalfüllung und zeigt die Verteilung innerhalb der Altersgruppen und Geschlechter. Dabei lagen der Minimalwert bei 23,8 % bei den 18-25 jährigen Männern und der Maximalwert mit 77,2 % in der Gruppe der 36-45 jährigen Frauen. Weibliche Personen hatten insgesamt signifikant häufiger mindestens einen wurzelkanalbehandelten Zahn als männliche ($p=0,006$; Odds Ratio 0,80).

Tabelle 7: Patienten mit mindestens einer Wurzelkanalfüllung nach Alter

	Altersgruppen in Jahren							
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66-75	76+	Gesamt
männlich								
n	20	74	159	167	183	177	52	832
%	23,8	48,7	66,0	66,5	68,5	72,2	61,2	62,8
weiblich								
n	21	87	122	179	217	176	47	849
%	28,0	57,6	77,2	73,7	71,9	70,7	66,2	68,0

Im zahlenmäßigen Vergleich der Durchschnittswerte zwischen Männern und Frauen ergab sich, dass eine Frau im Schnitt 1,8 wurzelkanalbehandelte Zähne hatte. Für die Männer lag der Mittelwert bei 1,7.

Abb. 23 veranschaulicht die durchschnittliche Verteilung der Zähne mit Wurzelkanalbehandlung. Vor allem die Gruppe der 18-25 Jährigen wiesen niedrige Werte auf. Der Maximalwert wurde in der Altersgruppe der 46-55 Jährigen erreicht. Er lag bei Frauen bei 2,3 Zähnen mit Wurzelkanalbehandlung und bei den Männern bei 2,0. Beim männlichen Anteil der Population blieb dieser Mittelwert bis in die Altersgruppe der 66-75 Jährigen konstant, bei den Frauen fiel er auf 1,9 Zähne in dieser Gruppe.

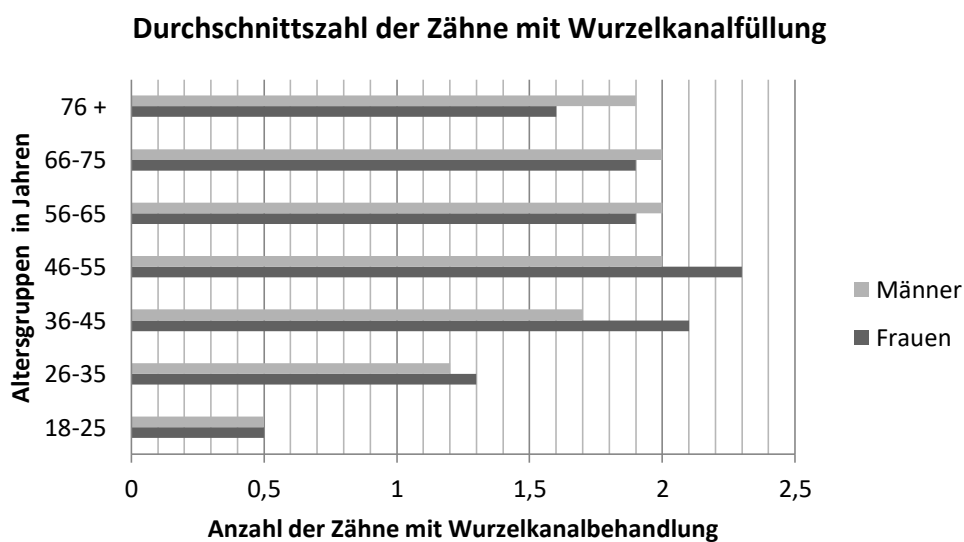


Abb. 23: Durchschnittliche Anzahl der Wurzelkanalfüllungen in den Altersgruppen

4.2 Zahnbezogene Befunde

Insgesamt wurden 58.808 Zähne im Rahmen der 2.574 Panoramaaufnahmen befundet. Davon waren 4.627 Zähne wurzelkanalbehandelt und wurden nach zehn Kriterien zusätzlich beurteilt. Es folgen die Befunde, die sich einzig auf die wurzelkanalbehandelten Zähne beziehen.

4.2.1 Häufigkeit von Wurzelkanalfüllungen

Wurzelkanalfüllungen wurden am häufigsten an 2. Prämolaren dicht gefolgt von den 1. Molaren durchgeführt. Sehr selten wurden dagegen 3. Molaren mit Wurzelkanalfüllungen evaluiert. (Tabelle 8)

Tabelle 8: Anzahl und Anteil der Zähne mit Wurzelfüllungen

Zähne mit Wurzelkanalfüllungen				
	Anzahl	Häufigkeit	davon	
			Oberkiefer	Unterkiefer
1. Inzisivus	442	9,55 %	374	68
2. Inzisivus	494	10,68 %	415	79
Caninus	501	10,83 %	354	147
1. Prämolare	646	13,96 %	392	254
2. Prämolare	964	20,83 %	491	473
1. Molar	896	19,36 %	449	447
2. Molar	619	13,38 %	287	332
3. Molar	65	1,40 %	19	46
Gesamt	4627	100 %	2781	1846

In der Altersgruppe der 18-25 Jährigen allerdings lag der Anteil der 1. Molaren an der Gesamtzahl der wurzelkanalgefüllten Zähne bei 41,56 % und war somit der häufigste Nennung innerhalb dieser Altersgruppe. Abb. 24 veranschaulicht grafisch die Anzahl der Wurzelkanalbehandlungen im Oberkiefer zum Unterkiefer. Besonders im Frontzahnbereich besteht dabei eine Differenz. Mit Hilfe des Mann-Whitney U Tests wurde signifikant belegt, dass in der Gesamtheit mehr Oberkiefer- als Unterkieferzähne wurzelkanalbehandelt worden sind. Im Einzelzahnvergleich hingegen konnte kein signifikanter Unterschied auf einem Signifikanzniveau von 0,05 ermittelt werden.

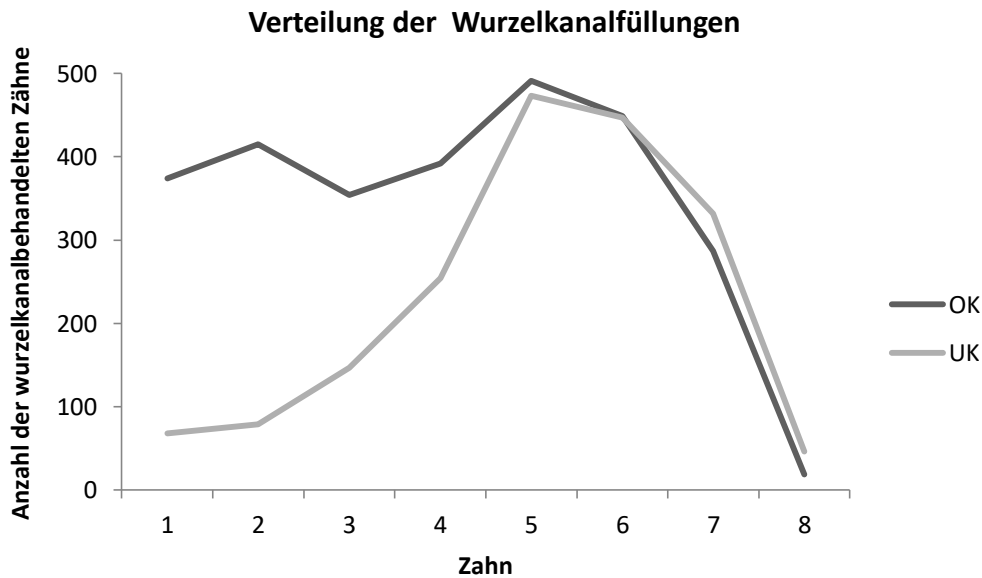


Abb. 24: Verteilung der Wurzelkanalfüllungen nach der Zahnart

4.2.2 Dichtigkeit, Homogenität und Länge der Wurzelkanalfüllungen

Bezüglich der Dichtigkeit und Homogenität der Wurzelkanalfüllung wurden fast dreiviertel der Wurzelfüllungen als dicht und homogen beurteilt. Etwas mehr als ein Viertel waren undicht und/oder inhomogen und nur 0,61 % nicht beurteilbar. (Abb. 25)

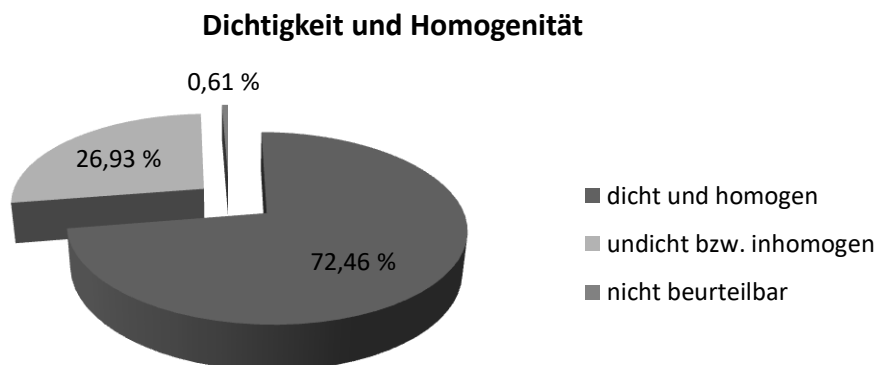


Abb. 25: Verteilung der Dichtigkeit und Homogenität der Wurzelfüllungen

In Hinsicht auf die Länge der Wurzelfüllung verteilten sie die Häufigkeiten wie folgt: 41,11 % flush, 54,27 % short, 3,03 % long und 1,60 % nicht beurteilbar. Damit sind über die Hälfte aller Wurzelkanalfüllungen als zu kurz einzustufen, aber nur ein geringer Anteil als zu lang. Als suffizient bezüglich der Lage zum Apex wurden nur 41,11 % beurteilt (Abb. 26).

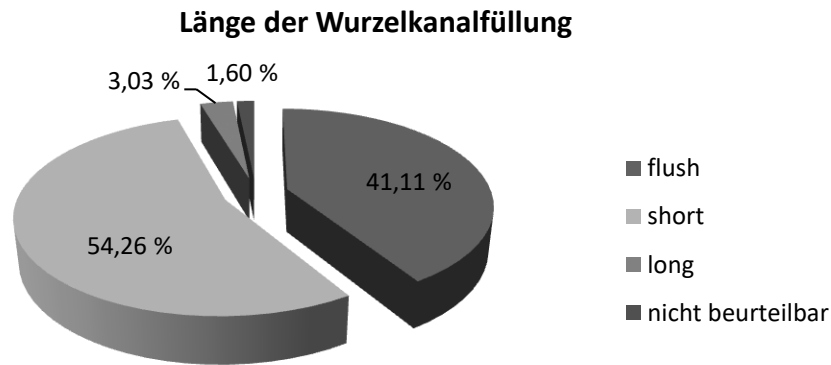


Abb. 26: Verteilung der Lage der Wurzelkanalfüllung zum Apex

4.2.3 Aufbereitungsfehler an wurzelkanalbehandelten Zähnen

Röntgenologisch sichtbare Aufbereitungsfehler traten mit einer Häufigkeit von 3,35 % und zusätzlich ungefüllte Kanäle an 4,34 % der Zähne auf. 0,6 % waren nicht beurteilbar bezüglich eines möglichen Aufbereitungsfehlers.

Neun von zehn Zähnen waren damit primär adäquat erschlossen in Hinblick auf die Kanalanatomie und das Auffinden der Kanaleingänge.

Die häufigsten Fehler bei der Aufbereitung waren ungefüllte Kanäle, Stufenbildung bzw. Begradigung des Kanals, gefolgt von Instrumentenfrakturen und Perforationen. Instrumentenfrakturen und ungefüllte Kanäle traten dabei deutlich häufiger an Molaren auf als an Prämolaren oder Frontzähnen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Nennungshäufigkeit der Aufbereitungsfehler nach Art und Zahngruppen

	Aufbereitungsfehler			
	Perforation	Instrumentenfraktur	Ledge/Strip ³	ungefüllter Kanal
Inzisiven	3	2	35	35
Prämolaren	2	6	53	46
Molaren	5	18	31	120
Summe	10	26	119	201

³ Begradigung des Kanalverlaufs und/oder Stufenbildung innerhalb eines Kanalsystems

4.2.4 Stifte sowie Art und Qualität der koronalen Versorgung

Stiftversorgungen wurden an 1.374 von 4.627 wurzelkanalbehandelten Zähnen evaluiert. Damit hatten annähernd 30 % der Zähne einen Stift. Molaren wurden insgesamt deutlich seltener mit Stiften versorgt als Prämolaren und Frontzähne.

Der koronale Abschluss der wurzelkanalgefüllten Zähne erfolgte in fast 70 Prozent der Fälle mit laborgefertigten Restaurationen (Krone, Brücke, Teleskop). Dahingegen waren 23,36 % mit Füllungen versorgt und 7,02 % ohne koronale Versorgung. Über 50 % aller Molaren wurden mit Kronen versorgt und Frontzähne anteilig häufiger als Brücken- und Teleskopfeiler als andere Zahngruppen verwendet. (Tabelle 10)

Tabelle 10: Verteilung der koronalen Versorgung nach Art und Zahngruppen

	Koronale Versorgung					Summe
	Brückenanker	Füllung	Krone	Teleskop	keine	
Inzisiven	25,33%	24,50%	37,65%	4,59%	7,93%	100%
Prämolaren	20,25%	21,86%	48,20%	2,42%	7,27%	100%
Molaren	16,27%	23,86%	53,16%	0,76%	5,95%	100%
Anteil	20,47%	23,36%	46,62%	2,53%	7,02%	100%

Als akzeptabel wurden 64,64 % dieser koronalen Versorgungen beurteilt. 33,48 % waren inakzeptabel und 1,88 % nicht beurteilbar. (Abb. 27)

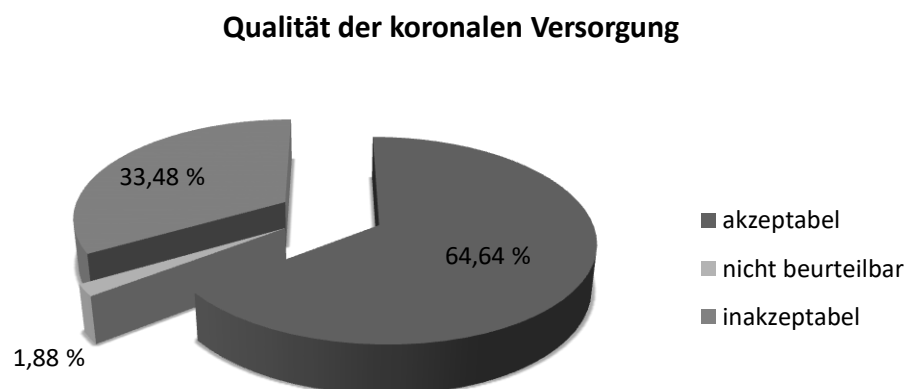


Abb. 27: Qualität der koronalen Versorgung an wurzelkanalbehandelten Zähnen

Tabelle 11 zeigt den Zusammenhang zwischen der Randdichtigkeit und der Art der koronalen Versorgung auf. Laborgefertigte Restaurationen waren dabei häufiger suffizient (Teleskop 78 %, Krone 71 %, Brücke 68 %) gegenüber direkten Versorgungen mit Füllungen (65 %).

Tabelle 11: Verteilung der Dichtigkeit zur Art der koronalen Versorgung

	Koronale Versorgung					Summe
	Brückenanker	Füllung	Krone	Teleskop	ohne	
akzeptable Qualität	651	708	1538	92	/	2989
inakzeptable Qualität	287	349	567	23	325	1551
n. b. Qualität	9	24	52	2	/	87
Summe	947	1081	2157	117	325	4627

In der exemplarisch abgebildeten Kreuztabelle (Tabelle 12) wurden die Qualität der laborgefertigten Restaurationen derer der Füllungen gegenübergestellt. Die Analyse mittels Chi-Quadrat-Test ergab eine signifikant schlechtere Versorgungsqualität der Zähne, die mit Füllungen versorgt waren gegenüber mit Zahnersatz ($p=0,001$). Ausgeschlossen wurden Zähne an denen ein Kriterium „nicht beurteilbar“ vorlag. Analog wurden auch die weiteren Signifikanztests durchgeführt.

Tabelle 12: Kreuztabelle koronale Versorgung zu Qualität der koronalen Versorgung

			koronale Versorgung		Summe
			Zahnersatz	Füllung	
Qualität der koron. Versorgung	akzeptabel	Anzahl	2281	708	2989
		Erwartete Anzahl	2239,4	749,6	2989,0
		% in Qualität der koron. Versorgung	76,3%	23,7%	100,0%
		% innerhalb von koron. Versorgung	72,2%	67,0%	70,9%
	inakzeptabel	Anzahl	877	349	1226
		Erwartete Anzahl	918,6	307,4	1226,0
		% in Qualität der koron. Versorgung	71,5%	28,5%	100,0%
		% innerhalb von koron. Versorgung	27,8%	33,0%	29,1%
Gesamt	Anzahl		3158	1057	4215
	Erwartete Anzahl		3158,0	1057,0	4215,0
	% in Qualität der koron. Versorgung		74,9%	25,1%	100,0%
	% innerhalb von koron. Versorgung		100,0%	100,0%	100,0%

Von den insgesamt 947 Brücken war 651 akzeptabel bezüglich des Randschlusses, 287 inakzeptabel und 9 nicht beurteilbar. Von den 367 Unterkieferbrücken waren 112 mit inakzeptabler Dichtigkeit. Allerdings wurden diese mit 31,37 % nur geringfügig häufiger als undicht evaluiert gegenüber den im Oberkiefer lokalisierten Brücken mit 29,66 %.

4.2.5 Periapikaler Status der wurzelkanalbehandelten Zähne

1.805 der 4.627 wurzelkanalbehandelten Zähne wiesen einen periapikalen Index ≥ 3 auf. Somit hatten rund 39% aller wurzelkanalbehandelten Zähne eine apikale Parodontitis. 28 % zeigten einen erweiterten Parodontalspalt – evaluiert mit PAI 2. Nur knapp 30 % hatten eine vollständig gesunde Periapikalregion im Sinne eines PAI 1.

Die Erfolgsquote einer Wurzelkanalbehandlung, bemessen am PAI ≤ 2 , lag damit in dieser Studie bei 57,92 %.

Ein periapikaler Index ≥ 3 war an Molaren signifikant häufiger vorhanden als an Prämolaren oder Frontzähnen ($p < 0,001$). Diesen Sachverhalt belegte auch das Quotenverhältnis (Odds Ratio). Für Molaren mit Wurzelkanalfüllung war demnach der Zusammenhang mit einer apikalen Entzündung um den Faktor 2,4 gegenüber Frontzähnen ($p < 0,001$) und um den Faktor 2,1 gegenüber Prämolaren erhöht ($p < 0,001$). Prämolaren hatten im Vergleich zu Inzisiven ein um den Faktor 1,2 erhöhtes Risiko einer apikalen Radioluzenz, allerdings nicht signifikant ($p = 0,058$). (vgl. Tabelle 13)

Tabelle 13: Auftreten und Verteilung des PAI Score nach der Zahnart

	PAI Score					n. b.	Gesamt
	1	2	3	4	5		
Inzisiven	36%/494	33%/428	25%/269	23%/154	15%/7	60%/85	31%/1437
OK	402	347	204	108	4	78	1143
UK	92	81	65	46	3	7	294
Prämolaren	42%/574	34%/449	34%/364	27%/184	13%/6	23%/33	35%/1610
OK	319	256	192	86	1	29	883
UK	255	193	172	98	5	4	727
Molaren	22%/307	33%/428	41%/449	50%/339	72%/33	17%/24	34%/1580
OK	181	228	217	104	4	21	755
UK	126	200	232	235	29	3	825
Summe	1375	1305	1082	677	46	142	4627
Anteil	30%	28%	23%	15%	1%	3%	100%

Das Quotenverhältnis (Odds Ratio) zwischen Patienten mit mindestens einem wurzelkanalbehandelten Zahn gegenüber Patienten mit keinem wurzelkanalbehandelten Zahn ergab ein 4-fach erhöhtes Risiko an einer apikalen Parodontitis zu erkranken.

Gesondert wurden nun die Molaren aufgrund ihrer anatomischen Besonderheiten, wie dem im ersten Oberkiefermolaren häufiger vorliegenden 2. mesiobukkalen Kanal gegenüber den zweiten Oberkiefermolaren sowie Anzahl-, Größe- und Lageanomalien der Kanäle der 3. Molaren betrachtet.

Dabei zeigte sich, dass erste Molaren tendenziell häufiger eine apikale Entzündung hatten als die Vergleichsgruppe aller Molaren. Weisheitszähne (3. Molaren) wiesen jedoch einen zur Vergleichsgruppe leicht reduzierten Anteil an apikalen Parodontitiden auf. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass die Gruppe der wurzelkanalbehandelten 3. Molaren nur 65 Fälle umfasste, die Vergleichsgruppe aller Molaren hingegen 1.580 Fälle. An ersten Unterkiefermolaren wurden bei ähnlicher Anzahl (n=447 zu n=449) häufiger PAI Werte von 3-5 festgestellt als im Oberkiefer. (Tabelle 14)

Tabelle 14: Anzahl und Verteilung der wurzelkanalbehandelten Molaren mit PAI 3-5

	1. Molar		2. Molar		3. Molar	
	n	davon PAI 3-5	n	davon PAI 3-5	n	davon PAI 3-5
Oberkiefer	449	199	287	117	19	9
Unterkiefer	447	295	332	180	46	21
Gesamt	896	494	619	297	65	30

Ausgewertet wurden auch gesondert die PAI-Werte an den 356 Zähnen mit Aufbereitungsfehlern, eingeteilt in apikal gesund (PAI 1-2) und Entzündungsgeschehen an der Wurzelspitze (PAI 3-5). Dabei ergibt sich insgesamt ein Anteil von 56,18 % der Zähne mit apikaler Parodontitis. Innerhalb der Untergruppen wiesen die Zähne mit ungefüllten Kanälen mit 66 % am häufigsten, Zähne mit Stufenbildungen und Begradigungen (strip/ledge) mit nur 39 % deutlich seltener einen PAI 3-5 auf. Bei Stufenbildung oder Begradigung ist also der Anteil der inflammatorisch behafteten Zähne ähnlich hoch wie der durchschnittliche Wert aller wurzelkanalgefüllten Zähne dieser Studie, für alle anderen Aufbereitungsfehler ist er erhöht. (Tabelle 15)

Tabelle 15: Verteilung der PAI-Werte an den Zähnen mit Aufbereitungsfehlern

	Aufbereitungsfehler				Summe
	Perforation	Instrumentenfraktur	Ledge/Strip	ungefüllter Kanal	
PAI 1-2	4	10	69	60	143
PAI 3-5	6	15	47	132	200
PAI n.b.		1	3	9	13
Summe	10	26	119	201	356

Die Überprüfung der PAI Werte an Zähnen mit einer Stiftversorgung gegenüber Zähnen ohne Stiftversorgung ergab keinen erhöhten Anteil an Zähnen mit apikaler Parodontitis (Tabelle 16). Hingegen waren die apikalen Werte an den Zähnen ohne Stift tendenziell größer, allerdings nicht signifikant $p=0,082$ (ausgenommen n. b.).

Tabelle 16: Verteilung der PAI Werte an den Zähnen mit bzw. ohne Stiftversorgung

	Stiftversorgung	
	ja	nein
	29,57%	70,27%
	davon	davon
PAI 1-2	59,17%	57,36%
PAI 3-5	36,67%	40,02%
PAI n.b.	4,16%	2,61%

5 von 4629 n.b. bezüglich Stiftversorgung

4.3 Korrelationen

Untersucht wurden nun die Parameter der Wurzelkanalfüllung und der koronalen Versorgung sowie die Korrelation zwischen dem periapikalen Status und den einzelnen Merkmalsausprägungen, anhand von denen die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung beurteilt wurde: Länge, Dichtigkeit bzw. Homogenität und koronale Versorgung

4.3.1 Länge und Dichtigkeit

Zähne mit einer zu kurzen Wurzelkanalfüllung waren deutlich häufiger auch undicht oder inhomogen gefüllt als Zähne mit adäquaten oder überlangen Wurzelkanalfüllungen. Bei den auf die richtige Länge gefüllten Zähnen lag der Anteil der dichten und homogenen Füllungen bei 82,75 % (Tabelle 17). Diese erhöhte Dichtigkeit bestätigte auch der Chi-Quadrat-Test mit $p < 0,001$ gegenüber den zu kurz gefüllten Zähnen. Aber auch die überfüllten also als „long“ titulierten Zähne waren überwiegend dicht und homogen (87,86 %), allerdings bei deutlich kleinerer Fallzahl, da der Anteil der überfüllten Zähne nur 3,03 % betrug, jedoch nicht signifikant häufiger als die längenmäßig adäquat gefüllten Zähne ($p = 0,001$).

Tabelle 17: Anzahl und Verteilung der Dichtigkeit zur Länge der Wurzelkanalfüllung

Länge	Dichtigkeit			Summe
	dicht und homogen	nicht beurteilbar	undicht bzw. inhomogen	
flush	1.574	9	319	1.902
	82,75%	0,47%	16,77%	100%
long	123	1	16	140
	87,86%	0,71%	11,43%	100%
n.b.	48	8	18	74
	64,86%	10,81%	24,32%	100%
short	1608	10	893	2511
	64,04%	0,40%	35,56%	100%
Summe	3353	28	1246	4627
Anteil	72,47%	0,61%	26,93%	100%

4.3.2 Periapikaler Index zu Länge, Dichtigkeit und koronaler Versorgung

Die Verteilung der periapikalen Werte (PAI) zu den Merkmalsausprägungen der Kriterien Länge und Dichtigkeit bzw. Homogenität beschreibt Tabelle 18. Zunächst wurden diese Kriterien isoliert betrachtet. Isoliert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass zuerst die Zuordnung anhand eines Merkmals aufgezeigt wird. Die anderen Kriterien blieben für diese Tabellen unberücksichtigt, waren aber an jedem Zahn vorhanden.

Innerhalb der Gruppe der dichten und homogenen Wurzelkanalfüllungen waren rund 65 Prozent der Zähne gesund (PAI 1-2). Bei den undichten bzw. inhomogenen Wurzelkanalfüllungen lag der Anteil der erkrankten Zähne (PAI 3-5) bei rund 55 Prozent. ($p < 0,001$)

Bezogen auf die Länge hatten knapp 73 % der „flush“ gefüllten Zähne eine gesunde Periapikalregion (PAI 1-2), fast die Hälfte aller Zähne mit zu kurzer Wurzelkanalfüllung jedoch einen PAI von 3-5. Die Fallzahl der „long“ gefüllten Zähne war um den Faktor 15 geringer, der Anteil der Zähne mit apikaler Parodontitis in dieser Gruppe bei 55 Prozent. „Flush“ gefüllte Zähne hatten eine signifikant gesündere Periapikalregion gegenüber „short“ und „long“ gefüllten Zähnen ($p < 0,001$).

Tabelle 18: Anzahl der PAI Nennungen nach dem Kriterium Dichtigkeit und Länge

		Dichtigkeit		Länge		
		dicht und homogen	undicht bzw. inhomogen	flush	long	short
PAI	1	1.185	185	835	12	520
	2	983	313	549	49	697
	3	701	377	293	52	730
	4	387	288	188	23	466
	5	22	24	15	2	29
	n. b.	75	59	22	2	69
Summe		3.353	1246	1.902	140	2.511
		28 Fälle n.b. bzgl. Dichtigkeit		74 Fälle n.b. bzgl. Länge		

Betrachtet man die Verteilung des PAI nach dem Kriterium der Qualität der koronalen Versorgung (Tabelle 19), ergibt sich, dass zwei Drittel aller Zähne mit akzeptablen Versorgungungen einen PAI von 1 oder 2 hatten. Hingegen zeigte sich an den Zähnen mit inakzeptablen koronalen Versorgungungen in 56 % der Fälle eine apikale Entzündung (PAI 3 bis 5) mit $p < 0,001$.

Tabelle 19: Anzahl der PAI Nennungen nach der Qualität der koronalen Versorgung

		Qualität der koronalen Versorgung	
		akzeptabel	inakzeptabel
PAI	1	1.079	271
	2	909	375
	3	588	474
	4	314	359
	5	16	29
	n. b.	85	41
Summe		2.991	1549

87 Fälle n.b. bzgl. koronaler Versorgung

Zwischen der Länge, Dichtigkeit und der Qualität der koronalen Versorgung und dem entsprechenden PAI-Wert besteht also jeweils eine Abhängigkeit. Nach Odds Ratio liegt der Risikofaktor einer kurzen Wurzelkanalfüllung gegenüber adäquater Länge bei 2,8 für die Ausbildung einer apikalen Parodontitis. Eine undichte Wurzelkanalfüllung korreliert mit dem Faktor 2,7 mit einer apikalen Entzündung gegenüber einer dichten Wurzelkanalfüllung und eine inakzeptable koronale Versorgung mit dem Faktor 2,9.

4.3.3 Kombination von Länge und Dichtigkeit

In Tabelle 20 wurden nun zwei Merkmalsausprägungen verschiedener Kriterien miteinander kombiniert und als Bedingung gesetzt. Die Kombinationen „dicht und flush“ oder „undicht und short“ trafen auf gut die Hälfte aller wurzelkanalbehandelten Zähne zu. Kombinationen mit überlangen Wurzelkanalfüllungen (long) erfolgten wegen zu geringer Fallzahl und dadurch begrenzter Aussagekraft nicht. Lag an einem Zahn eine adäquate Wurzelkanalfüllung vor (dicht & flush), so war die periapikale Region in gut dreiviertel aller Fälle gesund (PAI 1-2). 60,69 % der Zähne mit einer insuffizienten Wurzelkanalfüllung (undicht & short) hatten einen PAI ≥ 3 (Odds Ratio 5,9; $p < 0,001$).

Tabelle 20: PAI-Werte nach Anzahl der Nennung bezüglich der Wurzelkanalfüllung „dicht & am Apex“ und „undicht & ≥ 1 mm zum Apex“

		Wurzelkanalfüllung	
		dicht & am Apex	undicht & ≥ 1 mm zum Apex
PAI	1	747	98
	2	454	211
	3	212	293
	4	132	228
	5	12	21
	n. b.	17	42
Summe		1.574	893

4.3.4 Kombination von Länge, Dichtigkeit und koronaler Versorgung

Bezieht man die Qualität der koronalen Versorgung als Bedingung für die folgenden Tabellen zusätzlich zu den Kriterien Länge und Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung mit ein, reduziert sich die Fallzahl nochmals.

Trafen die drei Merkmalsausprägungen -dicht, am Apex und akzeptable koronale Versorgung- zu, waren 83,58 % der Zähne apikal gesund (PAI 1-2). Waren jedoch die Länge ≥ 1 mm zum Apex, die Dichtigkeit unzureichend und die koronale Versorgung inakzeptabel, lag der Anteil der Zähne mit einem PAI von 3-5 bei 70,90 % (Odds Ratio 15,5; $p < 0,001$) (vgl. Tabelle 21 und Abb. 28: Anteil der Zähne mit PAI 1-2 innerhalb der Population mit der/den entsprechenden Merkmalsausprägung(en)).

Tabelle 21: PAI-Werte nach Anzahl der Nennung bezüglich Wurzelkanalfüllung und koronaler Versorgung „dicht, am Apex & suffiziente KV“ und „undicht, $\geq 1\text{mm}$ zum Apex & insuffiziente KV“

		Wurzelkanalfüllung (WF) und koronale Versorgung (KV)	
		WF dicht, am Apex & suff. KV	WF undicht, $\geq 1\text{mm}$ zum Apex & insuff. KV
PAI	1	594	23
	2	312	71
	3	102	136
	4	59	118
	5	6	14
	n. b.	11	16
Summe		1084	378

Anteil der Zähne mit gesunder Periapikalregion

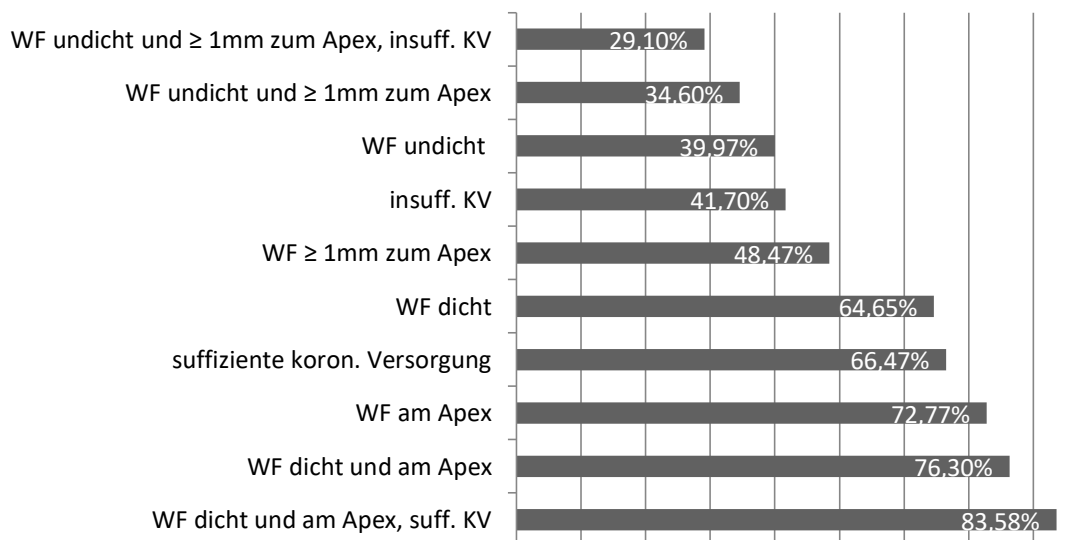


Abb. 28: Anteil der Zähne mit PAI 1-2 innerhalb der Population mit der/den entsprechenden Merkmalsausprägung(en)

Nach der Untersuchung des Idealfalls – dichte Wurzelkanalfüllung bis zum Apex mit suffizienter koronaler Versorgung - und des „Worst-Case-Szenarios“ – zu kurze und undichte Wurzelkanalfüllung mit insuffizienter koronaler Versorgung- wurden dann auch Mischformen auf die Verteilung der PAI-Werte überprüft.

Tabelle 22 fasst dabei die Fälle zusammen mit adäquater Wurzelkanalfüllung, aber undichter koronaler Versorgung gegenüber einer inadäquaten Wurzelkanalfüllung mit dichter Deckversorgung. Dabei fällt auf, dass im Vergleich zu Abb. 28 an den Zähnen

mit dichter und zum Apex reichender Wurzelkanalfüllung aber undichter koronaler Versorgung gegenüber dem Idealfall (WF dicht und am Apex, suff. KV) der Anteil der Zähne mit einem PAI von 1-2 deutlich geringer lag (59,65 % zu 83,58 %).

Die zweite Gruppe mit inadäquater Wurzelkanalfüllung, aber akzeptabler koronaler Versorgung hingegen wies einen höheren Anteil apikal gesunder Zähne auf als in der Vergleichsgruppe der „Worst-Case-Fälle“ (42,12 % zu 29,10 %). Zähne mit adäquater Wurzelkanalfüllung aber insuffizienter koronaler Versorgung wiesen dabei signifikant häufiger ($p < 0,001$) eine gesunde Apikalregion auf als Zähne mit inadäquater Wurzelfüllung aber suffizienter koronaler Versorgung (Tabelle 22).

Tabelle 22: PAI-Werte nach Anzahl der Nennung und Häufigkeit bezüglich Wurzelkanalfüllung und koronaler Versorgung „dicht, am Apex & insuffiziente KV“ und „undicht, ≥ 1 mm zum Apex & suffiziente KV“

Wurzelkanalfüllung (WF) und koronale Versorgung (KV)	PAI 1-2	PAI 3-5	n.b.	Summe
WF dicht, am Apex und insuff. KV	272 59,65%	180 39,47%	4 0,88%	456 100 %
WF undicht, ≥ 1 mm zum Apex und suff. KV	211 42,12%	266 53,09%	24 4,79%	501 100 %

Tabelle 23 gibt einen Überblick aller möglichen Merkmalskombinationen und der zugehörigen Werte des periapikalen Index. Von 4.627 wurzelkanalbehandelten Zähnen trafen auf 4.455 eine der unten stehenden Kombinationen zu. (96,3 %). Alle weiteren hatten mindestens ein nicht beurteilbares Kriterium.

Tabelle 23: Übersicht Merkmalskombinationen zu PAI Werten

Merkmalsausprägungen			Verteilung der PAI Werte			
Koronale Versorgung	Dichtigkeit	Länge	1-2	3-5	n. b.	Anzahl (n)
+	+	flush	84 %/906	15 %/167	1 %/11	1084
+	-	flush	66 %/120	33 %/ 61	1 %/ 2	183
+	+	short	64 %/686	35 %/372	1 %/15	1073
+	-	short	42 %/211	53 %/266	5 %/24	501
+	+	long	51 %/ 42	49 %/ 41	-	83
+	-	long	50 %/ 4	50 %/ 4	-	8
-	+	flush	60 %/272	39 %/180	1 %/ 4	456
-	-	flush	41 %/ 53	58 %/ 74	1 %/ 1	128
-	+	short	40 %/205	59 %/303	1 %/ 6	514
-	-	short	25 %/ 94	71 %/268	4 %/16	378
-	+	long	26 %/ 10	69 %/ 27	5 %/ 2	39
-	-	long	37 %/ 3	63 %/ 5	-	8
Summe			58 %/2606	40 %/1768	2 %/81	100 %/4455

koronale Versorgung: + akzeptabel, - inakzeptabel; Dichtigkeit: + dicht/homogen, - undicht/inhomogen

5 Diskussion

Die Intention dieser Studie ist die epidemiologische Aufarbeitung der Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalbehandlungen sowie der Prävalenz von apikalen Parodontitiden im Patientenkollektiv der Münchner ZMK-Klinik anhand der Orthopantomogramme des Jahres 2010 (n= 2912).

5.1 Material und Methode

Diese Aufnahmen wurden ausgewählt, um einen möglichst umfassenden Überblick über den endodontischen und periapikalen Zahnstatus der Population zu gewinnen. Der Indikationsbereich für eine Panoramaschichtaufnahme ist weit gefächert: Abklärung der Weisheitszähne, Herd- und Fokussuche, Verdacht auf Knochenabbau im Sinne einer Parodontitis, Planung von Zahnersatz, Abklärung von dentalen Nichtanlagen sowie chirurgische, kieferorthopädische Behandlungsplanung, etc.

Damit erfüllt die Auswertung von Orthopantomogrammen den Anspruch eines epidemiologischen Bevölkerungsquerschnitts besser als die Auswertung von Zahnstaten, die in der Regel bei speziellen Indikationen wie parodontologischen Befunden angewandt wird. Panoramaschichtaufnahmen werden außerdem bevorzugt zur Abklärung bei Beschwerden bei der Erstvorstellung eines Patienten in der Klinik angefertigt. Es handelt sich explizit nicht um eine Erhebung studentischer oder klinikinterner Behandlungen. Vielmehr ist anzunehmen, dass der Großteil der evaluierten Befunde von praktizierenden Zahnärzten in München und Umgebung durchgeführt wurde.

Der sozioökonomische Hintergrund der Patientenpopulation ist weitestgehend unbekannt. Erfahrungen des klinischen Alltags zeigen, dass die Zahnklinik einerseits aufgrund akuter Schmerzen und wegen der kostenreduzierten Behandlung im Vergleich mit freien Praxen, andererseits bei komplexen Behandlungsfällen, langer Krankenvorgeschichte oder Verunsicherung mit Wunsch nach einer Zweitmeinung aufgesucht wird. Es ist also von einer repräsentativen Stichprobe auszugehen, wobei der Anteil der Patienten mit Migrationshintergrund erhöht sein dürfte.

Aus dem Ziel einer Vollerhebung des Jahres 2010 resultierte die retrospektive, röntgenologisch basierte Auswertung. Ergänzende Erhebungen klinischer Parameter wie Vitalitätsproben, Perkussionsempfindlichkeit und Beschwerdesymptomatik wären anzustreben, sind aber bei solch großen Fallzahlen nur schwer realisierbar.

5.1.1 Bildgebende Verfahren

In wieweit die endodontische radiologische Diagnostik die re- und degenerativen Prozesse der Periapikalregion adäquat erfassen, erforschten Seltzer, Barthel et al. und Brynolf im Vergleich zum tatsächlichen histologischen Befund. Dabei wurden erhebliche Diskrepanzen festgestellt [125; 4; 9]. Da die histologische Aufarbeitung jedoch nur im Extraktionsfall möglich und vertretbar ist, erübrigt sich diese Methode zur flächendeckenden Analyse und bleibt auf Einzelfälle beschränkt [125; 80].

Gemäß Paragraph 23 der Röntgenverordnung (RöV) ist eine rechtfertigende Indikation für jede Röntgenaufnahme erforderlich im Sinne der Feststellung, dass der gesundheitliche Nutzen der Anwendung am Menschen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt [34]. Deshalb sind Röntgenaufnahmen allein zu Studienzwecken ethisch fragwürdig.

Lange Zeit galt die reduzierte Strahlenbelastung bei Panoramaschichtaufnahmen gegenüber Zahnstaaten als Argument für deren favorisierte Verwendung. Während der analoge Zahnfilm-Status vor einigen Jahren noch eine 2- bis 5-fache Dosis im Vergleich zu einer Übersichtsaufnahme mit sich brachte, konnte diese Differenz durch Weiterentwicklung beider Verfahren minimiert und im digitalen Bereich sogar egalisiert werden. [64]

Die Panoramaschichtaufnahme ermöglicht bei einfacher und zeiteffizienter Durchführung trotz beschriebener Einbußen im Frontzahnbereich [37; 30] einen guten Überblick über die knöchernen Strukturen der Maxilla und Mandibula, aller Zähne und auch der angrenzenden Kieferhöhlen mit Möglichkeit des Seitenvergleichs [30]. Im Einzelfall können zentral gelegene Details auf dem Zahnfilm durch Summation von Kortikalis und Spongiosa überdeckt werden, wohingegen sie im Orthopantomogramm (OPG), sofern in der scharfen Schicht gelegen, deutlich dargestellt sind [30].

Eriksen et al. wie auch Gröndahl et al. evaluierten zwar eine reduzierte Sensitivität für periapikale Läsionen bei alleiniger Beurteilung der Panoramaschichtaufnahme [26; 38]. Anhand von 1.022 Zähnen ermittelten hingegen Freitag und Weber eine weitgehende Übereinstimmung der Ergebnisse beider radiologischer Techniken mit Ausnahme des Oberkieferfrontzahngebietes aufgrund Überlagerungseffekts [30]. Die Untersuchung von Ahlqwist et al. ergab eine Sensitivität für periapikale Läsionen von 76 % an einwurzeligen Zähnen und von 90 % an mehrwurzeligen Zähnen anhand Panoramaschichtaufnahmen [1]. Molander et al. publizierten in ihrer Studie ebenfalls eine hohe Sensitivität bei der Diagnostik apikaler Parodontitiden anhand Panoramaschichtaufnahmen und unterstützenden Zahnfilmen von 80 % bis 96 % in Abhängigkeit von der Zahnart. Die Spezifität lag bei 95 % bis 97 %. [90]

Um die epidemiologischen Entwicklungen im Bereich der Endodontologie abschätzen zu können, ist also eine OPG-basierte-Querschnittsstudie trotz reduzierter Detailschärfe als ein probates Mittel anzusehen [30; 37; 1; 91; 111].

Nachteil beider Verfahren ist die zweidimensionale Darstellung einer dreidimensionalen Struktur. Dies muss auch in Hinblick auf die Beurteilung der Suffizienz der endodonti-

schen Versorgungen bedacht werden. Abhängig von Wurzelanzahl und Anordnung ist die Homogenität und Länge der Wurzelkanalfüllung anhand von 2-D-Röntgenaufnahmen mit bukkal-oralem Strahlengang unterschiedlich gut zu beurteilen [62].

Die hochauflösende digitale Volumentomographie ermöglicht hingegen eine dreidimensionale endodontische Diagnostik, Behandlungsplanung und Verlaufskontrolle bei komplexen Fällen und Zähnen mit ungewöhnlicher Anatomie [118]. Gegenüber der Einzelzahnaufnahme besteht bei überlagerungsfreien Schichtbildaufnahmen eine höhere Detektionsrate und bessere Abschätzung der Ausdehnung apikaler Parodontitiden [15; 130; 135].

Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) publizierte im Jahr 2013 eine überarbeitete wissenschaftliche Leitlinie zur dentalen Volumentomographie mit erweitertem Indikationsbereich im Vergleich zum Jahr 2009 [120]. Eine digitale Volumentomographie ist in der Endodontie demnach indiziert bei:

- apikalen Veränderungen bei Vorliegen klinischer Auffälligkeiten, wenn diese auf zweidimensionalen Aufnahmen nicht detektierbar bzw. räumlich korrelierbar sind
- Wurzelfrakturen, da diese mathematisch bedingt und auch klinisch nachgewiesen sicherer identifiziert werden können
- internen, externen, cervikalen oder apikalen Wurzelresorptionen
- anderweitig nicht detektierbaren Perforationen, Stiftperforationen und Instrumentenfrakturen
- komplexer Wurzelanatomie und Morphologie (zusätzliche Kanalsysteme, apikaler Chirurgie an Molaren, Unterkiefer Prämolaren, Dens invaginatus)
- Planung und Durchführung chirurgischer Endodontie unter Einbeziehung gefährdeter Nachbarstrukturen und/oder sehr komplexer bzw. umfangreicher Knochendestruktion
- Beurteilung der Qualität von eingebrachten Wurzelfüllungen
- Diagnose und Behandlung des dentoalveolären Traumas, besonders bei Vorliegen von Wurzelfrakturen, Luxationen und Frakturen des Alveolarfortsatzes

Neu aufgenommen in die Leitlinie wurden dabei die Unterpunkte Wurzelanatomie, chirurgische Planung, Qualitätskontrolle und dentoalveoläres Trauma. [120]

Die American Association of Endodontists (AAE) und die American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology (AAOMR) hatten bereits 2011 eine gemeinsam Stellungnahme mit folgendem ähnlichen Indikationsbereich herausgegeben: Darstellung von Anomalien des Wurzelkanals und zusätzlicher Kanalsysteme, die Diagnose apikaler Pathologien, die zweidimensional nicht darstellbar sind, Verlaufskontrollen bei endodontischen Behandlungskomplikationen, frakturierte endodontische Instrumente, Perforationen und Kanalobstruktionen. [57]

Damit entspricht die Aktualisierung der DGZMK auch einer internationalen Angleichung aufgrund neuerer Studienergebnisse. Trotzdem stellt die hochauflösende digitale Vo-

lumentomographie in der Endodontie eine auf Einzel- und Spezialfälle ausgelegte Bildgebung dar, vor allem, wenn die gängigen zweidimensionalen Röntgenaufnahmen keine zweifelsfreie Beurteilung zulassen [120].

Bei der Entwicklung eines epidemiologischen Studiendesigns sollte der Umsetzbarkeit höchste Priorität eingeräumt werden. Eine Studie mit großer Fallzahl ($n > 1.000$), dreidimensionaler Bildgebung und klinischer Untersuchung wäre zwar wünschenswert, aber aus den beschriebenen Gründen nicht praktikabel.

5.1.2 Kriteriendefinition, Kalibrierung und Einflussfaktoren

Besondere Aufmerksamkeit galt im Bewusstsein der Einschränkungen dieser Verfahrensweise der Definition der Variablen und ihrer Merkmalsausprägungen, da so laut Eckerbom et al. die Kongruenz der Interpretation optimiert und Fehldiagnosen minimiert werden können [20]. An jedem endodontisch behandelten Zahn wurden zehn Kriterien von Länge und Homogenität, über die Art und Suffizienz der koronalen Restauration sowie vorhandene Stiftversorgungen, Aufbereitungsfehler und ungefüllte Kanäle evaluiert.

Bezüglich der Länge wurden in dieser Studie Wurzelfüllungen mit einer Entfernung von 0–1 mm zum röntgenologischen Apex als adäquat eingestuft. Eine apikale Konstriktion als Zielpunkt für die Wurzelkanalfüllung ist dabei nicht in allen Wurzelkanälen als punktförmige Engstelle zu finden. Es existieren anatomische Besonderheiten wie Multikonstriktion, trichterförmige oder parallele Konstriktionen [47]. Eine aktuelle Studie von El Ayouti et al. im Jahr 2014 gibt Aufschluss über die Lagebeziehung zwischen Apex und apikaler Konstriktion. Anhand 90 Molaren wurde mittels Mikro-CT Aufnahmen ein mittlerer Abstand von 0,9 mm zwischen anatomischem Apex und apikaler Konstriktion ermittelt. Das Foramen apicale und die apikale Konstriktion lagen hingegen nur 0,2 mm auseinander [23]. Wu et al. differenzierten das Längenoptimum der Wurzelkanalfüllung in Abhängigkeit von der Ausgangsdiagnose. Im Falle einer Vitalexstirpation galten 2–3 mm zum röntgenologischen Apex als erfolgsversprechend, bei einer Pulp nekrose mit bakterieller Besiedlung des apikalen Anteils maximal 0–2 mm zum Apex [142].

Als Definitionsgrundlage in der vorliegenden Studie diente die Metanalyse von Schaeffer et al. aus dem Jahr 2005 über die ideale Länge der Wurzelkanalfüllung. Eine Überfüllung sei in jedem Fall zu vermeiden. Wurzelkanalfüllungen mit Endpunkt 0–1 mm zum Apex erzielten bessere Langzeiterfolge als solche mit 1–3 mm Abstand zum Apex. [117]. Covello et al. [11] und weitere Autoren beziehen sich dagegen auf die Leitlinie der European Society of Endodontology (ESE), die eine Entfernung bis 2 mm zum röntgenologischen Apex als akzeptabel beurteilt. Einen Abstand bis 3 mm zum Apex stuften Marques et al. als suffizient bezüglich der Länge einer Wurzelkanalfüllung ein [87]. Dies verdeutlicht die erschwerte Vergleichbarkeit zwischen den Studien. Eine Verbesserungsmöglichkeit derselben wäre eine Intervallstaffelung des Längeskriteriums in Millimeterschritten in zukünftigen Studien.

Bei der Beurteilung der Periapikalregion hat sich die Verwendung des PAI-Score mit Beispielbildern nach Ørstavik et al. [97] etabliert. Dieser erfüllt nach Eriksen et al. die Anforderungen, die an ein Kriterium in der epidemiologischen Forschung gestellt werden: Messbarkeit, Reproduzierbarkeit, Validität, Exklusivität und Kommunizierbarkeit [27].

Diesen Score verwendeten beispielweise auch Tavares et al. [131], Frisk et al. [31] und Skudutyte-Rysstad et al. [129] und ermöglichen so eine bessere Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der erhobenen Befunde über die Verbreitung der Parodontitis apicalis.

Um diese zu gewährleisten, fand auch eine Kalibrierung der Untersucherin mithilfe der PAI Referenzbilder [97] und eine Doppelbefundung im Intervall von zwei Monaten anhand 30 Panoramaaufnahmen statt. Denn die Verwendung von visuellen Referenzbildern und die vorrausgehende Kalibrierung anhand Übungsbildern ermöglicht laut Kirkevang [67] eine verbesserte Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Weiterhin seien die heterogenen Studienergebnisse auf divergierende Kriteriendefinitionen und Indizes zurückzuführen. Auch aus diesem Grund sei eine Vereinheitlichung derselben zur besseren Vergleichbarkeit anzustreben.

Auch im Fortgang der Analyse bestätigte anhand einer randomisierten Stichprobe von 146 Bildern (5 %) eine erneute Prüfung der intraexaminer reliability mit Werten von 0,82 bis 0,89 je nach Kategorie „almost perfect agreement“ nach Landis und Koch [78]. Zusätzlich ermöglichte die Rücksprache mit endodontisch spezialisierten Fachärzten in schwierigen Fällen eine Steigerung der Aussagekraft wie von Saunders et al. und Molven et al. beschrieben [115; 92; 41].

Der grundsätzlichen Problematik der subjektiven Beurteilung der Panoramaaufnahmen wurde Rechnung getragen durch Reevaluation einer weiteren Stichprobe durch einen zweiten Untersucher.

Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) wurde mit folgendem Ergebnis durchgeführt (ICC two way mixed mit justiertem Modell; Konfidenzintervall (CI)):

Qualität der koron. Vers: Hammann / Diegritz – ICC=0,811, 95 % CI: 0,760-0,851

PAI: Hammann / Diegritz – ICC=0,820, 95 % CI: 0,772-0,859

Länge: Hammann / Diegritz – ICC=0,739, 95 % CI: 0,669-0,795

Koronale Dichtigkeit: Hammann / Diegritz – ICC=0,878, 95 % CI: 0,843-0,906

Aufbereitungsfehler: Hammann / Diegritz – ICC=0,576, 95 % CI: 0,462-0,666

Der Studienaufbau reduzierte den komplexen Sachverhalt von Wurzelkanalbehandlungen und anschließenden -füllungen auf das röntgenologische Ergebnis der Wurzelfüllung und den Erfolg auf eine röntgenologisch entzündungsfreie Periapikalregion.

Im Verlauf der Wurzelkanalbehandlung sind auch die Faktoren Zeit, Technik, Erfahrung, Material und die Beschaffenheit des Zahnes zu bedenken, die einzeln und kombiniert die Erfolgschance (Outcome) beeinflussen. Einige Faktoren bilden sich zwar röntgenologisch ab, beispielsweise nicht erschlossene Kanäle, Stufenbildung, Einstiftfüllung, andere hingegen können röntgenologisch nicht erfasst werden, wie Art und Dauer der Kanalspülung, Ausgangsdiagnose und Immunstatus des Patienten.

Dies gibt Anhaltspunkte, warum trotz röntgenologisch adäquater Wurzelkanalfüllung eine apikale Entzündung vorliegen kann und auch der Gegenfall einer insuffizienten endodontischen Versorgung im Einzelfall ohne periapikale Läsion einhergehen kann.

Vergleicht man die Zugänglichkeit eines Inzisivus und eines Molaren, so ist ersterer als deutlich einfacher einzuschätzen. Aber auch die Wurzelanatomie von Molaren mit mehreren Kanälen - die erst aufgefunden werden müssen und gegebenenfalls Krümmungen, Konflationen oder Kalzifizierungen aufweisen - ist gegenüber einem idealerweise zentralen und großlumigen Kanal im Frontzahn als vielschichtiger einzustufen.

Zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts dienen drei Präparate oberer Molaren mit Unzulänglichkeiten bei der Wurzelkanalbehandlung, die allesamt von endodontisch versierten Zahnärzten durchgeführt wurden (Abb. 29). Zur Verfügung stellte diese Zahnarzt Dr. Reuver⁴, der neben der Endodontologie auf die Herstellung transparenter Zahnpräparate spezialisiert ist.

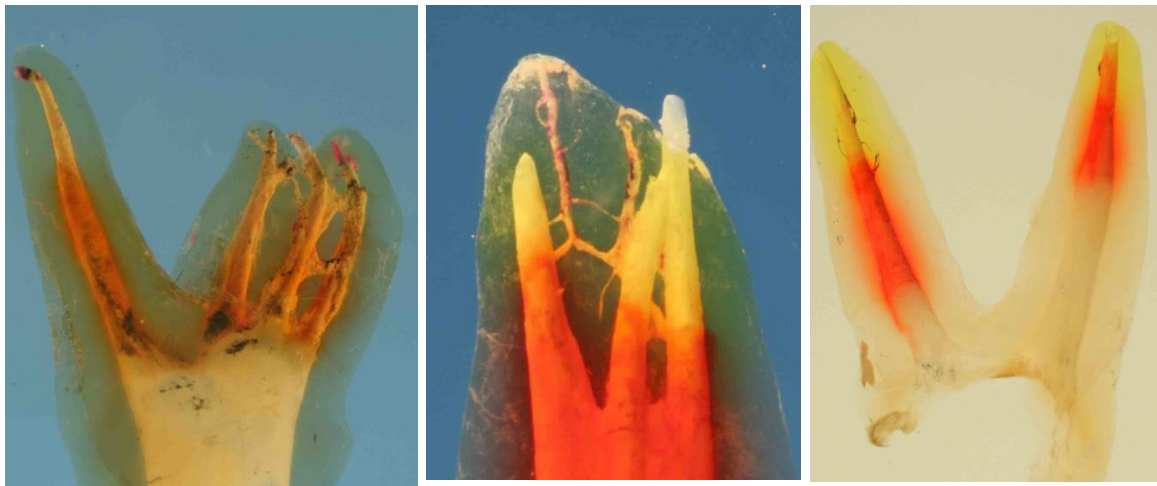


Abb. 29 a-c: transparente Präparate endodontisch behandelter Molaren (mit bestem Dank an Dr. Reuver)

⁴ Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Dr. Holm Reuver, Weinstraße 201, 67434 Neustadt/Weinstraße; <http://www.reuver.de>

Ein weiterer Faktor, der die endodontische Behandlung bestimmt, ist die Zeit. Dieser Faktor ist eng verknüpft mit den Faktoren Erfahrung und Wirtschaftlichkeit. Eine gute Wurzelkanalbehandlung braucht Zeit und Erfahrung und sollte dabei in der freien Praxis auch kostendeckend durchgeführt werden können.

Untersuchungen mit Studenten höherer Fachsemester aber geringer Erfahrung zeigen divergierende Ergebnisse. Er et al. ermittelten 2006 in einer Studie der Universität in Ankara (Türkei) 33,0 Prozent adäquate Wurzelkanalfüllungen bezüglich Länge und Homogenität [25]. Khabbaz et al. evaluierten in der Studentenbehandlung 55 % akzeptable Wurzelkanalfüllungen, tendenziell bessere Ergebnisse mit steigender Semesterzahl und einen Optimierungsbedarf vor allem an Molaren in Qualität und Vermeidung von Aufbereitungsfehlern [63].

Diese Studienergebnisse zeigen, dass unter entsprechender Anleitung und mit ausreichend Zeit bereits von Studenten sachgerechte endodontische Behandlungen durchgeführt werden können. In den Universitätskliniken sind in der Regel Material und Zeitfenster ausreichend vorhanden, Unabhängigkeit von der Wirtschaftlichkeit ist ebenfalls gegeben. Umfangreiche klinische Erfahrung ist also nicht zwingend Bedingung für eine erfolgreiche Behandlung, kann aber die Fehlerquote bei der Aufbereitung senken, die Effizienz erhöhen und damit bessere Ergebnisse in kürzerer Zeit ermöglichen. Indes sind die Kenntnis über die Zahnanatomie und die Behandlungsprinzipien die Basis für eine fachgerechte Versorgung.

In den freien Praxen wird die Wurzelkanalbehandlung über die Gebührenordnung der Zahnärzte (GOZ) und dem Bewertungsmaßstab für Zahnärzte (BEMA) strukturiert. Dabei sind bei einem gesetzlich Versicherten maximal drei Medikamentenwechsel vorgesehen, und die Wurzelkanalfüllung ist nach Kassenrichtlinie gemäß dem Prinzip der ausreichenden und zweckmäßigen Versorgung durchzuführen.

Alle darüber hinaus gehenden Maßnahmen - beispielweise Kofferdam, Lupenvergrößerung, maschinelle Aufbereitung, ultraschallaktivierte Spülungen und Warmfülltechniken - werden somit in der Regel über Privatvereinbarungen mit dem Patienten oder von den privaten Krankenkassen übernommen.

Vergleichende Studien zwischen Allgemeinzahnärzten und endodontologische spezialisierten Praktikern zeigten laut Alley et al. 2004 signifikant höhere Erfolgsraten (89,7 % zu 98,1 %) [2].

Die langfristige Prognose eines wurzelkanalbehandelten Zahnes variiert allerdings auch primär unabhängig von der Behandlung vom pathologischen Prozess am Zahn. So ist die Keimfreiheit in einem devitalen und apikal entzündeten Zahn deutlich schwerer herzustellen als in einem Zahn bei einer Vitalexstirpation mit alleiniger Infektion der Kronenpulpa oder steriler Nekrose nach Trauma.

Dieser Zusammenhang sollte auch im Hinterkopf behalten werden, wenn es darum geht, die durchaus existierende „Erfolgsquote“, festgemacht am PAI des betreffenden Zahnes, bei insuffizienter Wurzelkanalbehandlung zu analysieren. So ist eine zu kurze

Wurzelkanalfüllung an einem vital exstirpierten Zahn deutlich seltener mit einer apikalen Parodontitis assoziiert als an devitalen Zähnen [74].

Sjögren et al. und Nair et al. evaluierten den präoperativen Pulpastatus und PAI-Score als entscheidenden Einflussfaktor auf die Erfolgsrate [128; 94]. An Zähnen ohne initiale apikale Aufhellung konnte unabhängig von der Vitalität eine Erfolgsrate von 96 % nach 8 bis 10 Jahren ermittelt werden. Dem gegenüber stehen 86 % bei Pulpanekrose mit apikaler Parodontitis und 62 % Ausheilung in diesem Zeitraum bei Revisionsbehandlungen [128].

Aber auch der Faktor des Beurteilungszeitpunkts ist kritisch zu würdigen. Die röntgenologische Auswertung der Panoramaschichtaufnahmen stellt eine Momentaufnahme des Zahnstatus ohne Bezug zum Zeitpunkt der Wurzelkanalfüllung dar. Deshalb ist es möglich, dass Prozesse mit regenerativer Tendenz nicht als solche erfasst werden. Andererseits sind bei Querschnittstudien Fehlinterpretationen und Fehldiagnosen bekanntermaßen annähernd gleich verteilt, so dass die Ergebnisse doch bedeutsam bleiben. [127]

Die röntgenologische Diagnose einer apikalen Parodontitis basiert auf Veränderungen der normalen periapikalen Anatomie. Hauptursache dafür sind resorptive und remodelierende Vorgänge als Antworten auf eine Entzündung. Insbesondere durch die variierende Knochendicke in den unterschiedlichen Kieferregionen wird die röntgenologische Darstellung und Detektierbarkeit einer periapikalen Läsion beeinflusst. Isolierte spongiöse Läsionen mit einem Durchmesser < 3 mm können an Oberkieferzähnen und Unterkieferfrontzähnen eher diagnostiziert werden als Unterkiefermolaren. [52]

Anhand 732 wurzelkanalbehandelten Zähnen (Recallrate 82 %) ermittelte Ørstavik 1996 eine Heilungsdauer von bis zu vier Jahren bei Vorliegen einer apikalen Parodontitis als Ausgangsbefund. Heilungstendenzen zeigten sich allerdings an 89 % der Zähne innerhalb des ersten Untersuchungsjahres [96].

Faktoren für ein Vorliegen einer apikalen Entzündung trotz suffizienter Wurzelkanalfüllung können in der zweidimensionalen Röntgenaufnahme, der Zahnanatomie und im Behandlungsablauf begründet sein. Überlagerungen der Wurzeln können gerade im Bereich der Molaren einen gegebenenfalls insuffizient gefüllten Kanal überdecken, die apikale Aufhellung kann aber sichtbar sein. Außerdem sind zusätzliche, nicht röntgenologisch erkennbare Kanäle möglich, man denke an den zweiten mesiobukkalen Kanal (mb2) des ersten oberen Molaren. Auch Verästelungen des endodontischen Raumes können die Keimfreiheit im Zahn verhindern. Verzweigungen im apikalen Wurzeldrittel im Sinne eines apikalen Deltas wie auch konfluierende Kanäle erschweren die Desinfektion und den dichten Verschluss aller Kanalanteile. Damit stehen die anatomischen Verhältnisse in direktem Zusammenhang mit dem Behandlungsablauf. Um eine ausreichende Desinfektion im Kanal auch unter der Annahme von Verästelungen zu erreichen, ist die ausreichende Menge, Verweildauer und Eindringtiefe der Spülflüssigkeit im Kanal von entscheidender Bedeutung [43].

Gleiches gilt weiterhin für die medikamentösen Einlagen im Zahn zwischen den Behandlungen. Ebenfalls entscheidend ist die Compliance des Patienten im Sinne von Termineinhaltung, Rückmeldung bei Verlust des koronalen Verschlusses und Ermöglichung der Zugänglichkeit (Mundöffnung) entscheidend.

Auch die Immunlage des Patienten beeinflusst laut Marending et al. neben der Qualität der Wurzelkanalfüllung und neben dem initialen PAI-Score maßgeblich die Erfolgsaussichten einer endodontischen Behandlung. Die Faktoren Patientenalter, Nikotinabusus, Speichelsekretion, Instrumentationsart und Initialbehandlung vs. Revisionsbehandlung seien hingegen vernachlässigbar [86].

Diese Sachverhalte zeigen auf, dass die Einflussfaktoren auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung noch weiter erforscht werden müssen. Dabei ist an histologische Studien an extrahierten Zähnen ebenso zu denken wie an klinische Studien mit Patientenbefragung, Untersuchung, Röntgenbefund und Auswertung der Behandlungsdokumentation über Verlauf und Materialeinsatz. Allerdings sind hohe Fallzahlen und Reevaluationsraten in solchen Studiendesigns schwierig erzielbar. Gerade die langfristige Reevaluation mit möglichst hoher Recallrate ist laut Wu et al. aber notwendig, um die Erfolgsaussichten einer Wurzelkanalbehandlung adäquat abschätzen zu können [141].

5.2 Ergebnisse

Die von dieser Studie ausgeschlossenen Röntgenaufnahmen verteilten sich auf definierte Gruppen wie Milchgebiss/Wechselgebiss, Mehrfachanfertigungen innerhalb eines Jahres, Testbilder und Kiefergelenksaufnahmen. Diese Ausschlusskriterien wurden vorab gewählt, da einerseits die Aufnahmen nicht zur Befundung geeignet gewesen wären wie Testbilder und Kiefergelenksaufnahmen, andererseits eine Überrepräsentierung einzelner, mehrfach geröntgter Patienten vermieden werden sollte.

Nur ein sehr geringer Anteil von unter einem Prozent wurde aufgrund qualitativer Mängel aussortiert. Dies verdeutlicht die hohe Anwendungssicherheit des Orthophos XG mit geringer Fehlerquote bei Einsatz von geschultem Personal. Patienten unter 18 Jahren wurden ebenfalls ausgeschlossen, um den Abschluss der Wechselgebissphase und des Wurzelwachstums bei allen Patienten als einheitliche Ausgangslage gewährleisten zu können.

5.2.1 Patientenbezogene Befunde

Die vorliegende Studie stellt eine Vollerhebung der Orthopantomogramme der erwachsenen Patienten der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München des Jahres 2010 dar. Mit 2.574 Patienten und 4.627 wurzelkanalbehandelten Zähnen ist die hohe Fallzahl dieser Studie hervorzuheben, die bis zu einem Zehnfachen über vergleichbaren Studien aus der Schweiz von Imfeld (1991) [53], den Niederlanden von De Cleen (1993) [13], aus Litauen von Sidaravicius et al (1999) [126], Frankreich von Boucher et al (2002) [8], Irland von Lofthus et al (2005) [82] und Spanien von Jiménez-

Pinzón et al (2004) [56] liegt. Ähnlich große Studienpopulationen mit bis zu 1.830 Patienten untersuchten Ödesjö et al. [95], Schulte et al. [119], Siqueira et al. [127], Kabak und Abott [58], Gulsahi et al. [39] und Kalender et al. [59].

Die Altersverteilung in der Studienpopulation folgte keiner Normalverteilung, daher wurden nur nichtparametrische statistische Tests durchgeführt. Dabei bildet die rechtssteile Verteilung, mit den meisten Patienten in der Altersgruppe 56 - 65 Jahre, die altersabhängige Indikation zum Anfertigen eines Orthopantomogramms ab.

So ist bei den jungen Erwachsenen eine klassische Indikation die Abklärung der Anlage von Weisheitszähnen. Im mittleren und höheren Alter ist hingegen der Verdacht auf Knochenabbau im Sinne einer Parodontitis, die Beurteilung des apikalen Status oder des Knochenangebots zur Zahnersatzplanung häufiger.

Männer waren mit 51,48 % geringfügig stärker vertreten als Frauen mit 48,52 %. Das mittlere Alter lag mit 52,66 Jahren im Vergleich zu anderen Studien hoch. Einzig Imfeld [53] hatte mit seiner hochselektiven Studienpopulation 66-jähriger Bewohner Zürichs ein deutlich höheres mittleres Alter.

Einige Studien legten auch Altersobergrenzen zwischen 50 und 62 Jahren fest [59; 93; 11; 28] (vgl. Tabelle 1). Im deutschsprachigen Raum lagen die in früheren Querschnittsstudien ermittelten Werte bei 44,8 Jahren (Viktorov 2006) [137], 35,2 Jahren (Weiger et al. 1997) [139], 36,3 Jahren (1994) und 43,4 Jahren (2004) (Heppler/Hülsmann) [45].

Die mittlere Zahnanzahl ist mit 22,8 Zähnen als relativ niedrig einzuschätzen. Im Gegensatz zur Deutschen Mundgesundheitsstudie 2006 (DMS IV)[61], die durchschnittlich 2,7 fehlende Zähne bei Erwachsenen erhoben hatte, ist trotz Miterhebung der Weisheitszähne ein höherer Zahnverlust bei den Patienten mit Indikation für eine Panoramaschichtaufnahme festzustellen.

Der Anteil der zahnlosen Patienten (n=43) in dieser Studie liegt mit 1,7 % über den Ergebnissen für die Probanden der DMS IV im Alter von 35 bis 44 Jahren mit 1 %. Dies könnte im hohen Durchschnittsalter, das mit knapp 53 Jahren über der Vergleichsaltersgruppe der DMS IV liegt, begründet sein. Allerdings sind die möglichen Indikationen zum Anfertigen einer Panoramaschichtaufnahme im zahnlosen Kiefer deutlich reduziert, somit wäre eher eine Unterrepräsentierung in einem röntgenbasierten Patientenkollektiv gegenüber der zufälligen Auswahl in der DMS Studie zu erwarten. Daher ist auch der Einfluss des sozioökonomischen Status auf den Gesundheitszustand, d.h. den Unterschieden nach Bildung, beruflichem Status und Einkommen, vor diesem Hintergrund abzuwägen. Vergünstigte Behandlungskonditionen durch Studentenkurs- und Studienteilnahme erhöhen möglicherweise den Anteil von Patienten mit geringerem sozioökonomischem Status in Patientenstamm einer Universitätszahnklinik. Gemäß Mielck weisen Personen mit niedriger Bildung, niedrigem beruflichen Status und/oder niedrigem Einkommen zumeist eine erheblich höhere Morbidität und Mortalität auf als Personen aus den oberen Statusgruppen. Nach den meisten empirischen Studien sind

die Gründe in belastenden Arbeits- und Wohnbedingungen, unzureichendem Gesundheitsverhalten und Mängeln in der gesundheitlichen Versorgung zu suchen. [89]

Die ungleiche Zahngesundheit innerhalb des Studienkollektivs zeigt auch das Boxplotdiagramm (Abb. 19). Ausreißer mit vollständiger Zahnlosigkeit finden sich in fünf der sieben Altersgruppen. Um dies richtig interpretieren zu können, sollte bedacht werden, dass auch Wurzelreste als Zähne miterhoben wurden, Implantate allerdings nicht. Die mittlere Zahnanzahl lässt also nur sehr begrenzt eine Aussage über den prothetischen Versorgungsgrad zu.

Der apikale Status zeigt eine Polarisierung apikaler Parodontitiden in einer kleinen Patientengruppe; denn 30 % der apikalen Parodontitiden entfielen auf 7,7 % der Patienten (Anzahl AP 5-16). Bei einer solchen Anhäufung kann von regelmäßigen zahnärztlichen Kontrollen nicht ausgegangen werden, aber gerade deshalb sollte bei der (Erst)Vorstellung dieser Patienten in der Klinik/Praxis der Abklärung und Behandlung von apikalen Osteolysen hohe Priorität eingeräumt werden.

68,3 % der Patienten haben mindestens einen Zahn mit apikaler Parodontitis. Eine ähnlich hohe Prävalenzrate ermittelten Tsuneishi et al. 2005 mit 69,8 % [136], Viktorov 2006 hingegen nur 48,2 % [137]. Im Schnitt waren 7 von 100 Zähnen apikal entzündet, bei den Senioren (76+) sogar 11 von 100. Die Parodontitis apicalis stellt also eine Volkskrankheit gerade im höheren Lebensalter dar. Auch der im Verhältnis geringe Anteil der Patienten mit vollständig gesunder Apikalregion aller Zähne weist auf die Notwendigkeit von routinemäßigen Vitalitätsproben sowie von Röntgenkontrollen der wurzelkanalbehandelten Zähne und des gesamten Zahnstatus hin.

Bei männlichen Patienten wurde im Durchschnitt in 6 von 7 Altersklassen ein höherer Anteil an Zähnen mit apikaler Parodontitis festgestellt als bei Frauen, allerdings war dieser nicht signifikant (vgl. Abb. 21). Nur in der Gruppe der Patienten 76+ lagen die Frauen prozentual vorn. Als mögliche Ursache für die höhere Prävalenz der Parodontitis apicalis bei Männern sind die Faktoren individuelle Mundhygiene, regelmäßige Kontrolluntersuchungen und allgemeines Gesundheitsbewusstsein weiter zu erforschen.

Bei zwei von drei Patienten besteht Handlungsbedarf im Sinne der Einleitung einer Wurzelkanalbehandlung beziehungsweise Revisionsbehandlung an einem bereits wurzelkanalbehandelten Zahn. Damit stellt die endodontische Erst- und Revisionsbehandlung einen durchaus relevanten und wachsenden Tätigkeitsschwerpunkt der konservierenden Zahnheilkunde dar. Auch sollte überlegt werden, weitere Anreize zu schaffen, um Patienten mit desolaten mundhygienischen Verhältnissen und niedrigem Versorgungsgrad zur regelmäßigen Konsultation des Zahnarztes zu bewegen, um das Entstehen und die Verbreitung chronischer Entzündungsprozesse der Apikalregion zu vermeiden oder frühzeitig zu therapieren.

5.2.2 Zahnbezogene Befunde

7,8 % aller Zähne waren wurzelkanalbehandelt. Deutlich höhere Werte zwischen 18,9 und 20,5 % ermittelten Kabak und Abott [58], Tsuneishi et al. [136], Boucher et al. [8], Lupi-Pegurier et al. [83] und Imfeld [53]. Einige Studien evaluierten aber auch einen deutlich geringeren Anteil von unter 5 % wie beispielweise Özbaş et al. [98], Touré et al. [133], Eckerbom et al. [21] und Lofthus et al. [82].

Die apikale Unversehrtheit (PAI 1-2) stellt in der röntgenbasierten Epidemiologie einen wichtigen Parameter der Erfolgsbeurteilung einer Wurzelkanalbehandlung dar. Von den endodontisch versorgten Zähnen hatten in der vorliegenden Studie 39 % apikale Osteolysen, von der Gesamtheit aller Zähne hingegen nur 4 %. Dies wirft die Frage auf in welchem zeitlichen Zusammenhang das Entstehen der apikalen Parodontitis und die Wurzelkanalbehandlung dieser Zähne stehen. Leider ist dies anhand einer einzeitigen Querschnittsstudie nicht ablesbar. Auffällig ist aber, dass im internationalen Vergleich dieser an sich schon hohe Wert der periapikal entzündeten und wurzelkanalbehandelten Zähne im Mittelfeld liegt, verglichen mit Özbaş et al. [98], Kirkevang et al. [70], Dugas et al. [19] und De Moor et al. [14]. Höchstwerte um 60 Prozent und mehr evaluierten Kalender et al. [59], Mukhaimer et al. [93], Touré et al. [133], Georgopoulou et al. [33] und Jiménez-Pinzón et al. [56]. Eckerbom et al. [21] und Peters et al. [101] zeigten in ihren Follow-up-Studien, dass zwei Dekaden keine Verbesserung des periapikalen Status in der Studienpopulation brachten.

Anhand von mehr als 600 dänischen Patienten ermittelten Kirkevang und Wenzel 2002 das Vorhandensein von Wurzelkanalfüllungen als meist entscheidenden Risikoindikator für apikale Parodontitiden. Weiterhin wurden kariöse Läsionen, die Qualität der zahnärztlichen Behandlung, die Regelmäßigkeit zahnärztlicher Untersuchungen und das Rauchen als solche Indikatoren identifiziert. [71]

Veröffentlichungen von Bergström et al 1987, Eriksen & Bjertness 1991, Petersson 1993, Hülsmann 1995, Sidaravicius et al. 1999 und Kirkevang et al. 2001 zeigten bereits, dass ein Großteil der apikalen Parodontitiden an wurzelkanalbehandelten Zähnen zu finden war [129].

Einzelne neuere Studien ergaben an nur maximal einem Drittel der wurzelkanalgefüllten Zähne apikale Aufhellungen wie beispielsweise Kim (2010) [65], Tavares et al. (2009) [131] und Gulsahi et al. (2008) [39]. Erklärungsansätze für diese stark divergierenden Ergebnisse können im Bereich des Studiendesigns (Bildgebung, Kriteriendefinition, Untersucher, Population), der vorausgegangenen Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung (irreversible Pulpitis, apikale Aufhellung, Trauma) und der Qualität der zahnärztlichen Behandlung gesucht werden.

Der höchste Durchschnittswert der Zähne mit Wurzelkanalbehandlung lag in der Gruppe der 46–55 Jährigen mit 2,3 bei den Frauen und 2,0 bei den Männern. Die im Alter tendenziell wieder sinkenden Werte erklären sich in Zusammenhang mit zunehmendem Zahnverlust aufgrund parodontaler Ursachen, frakturierten wurzelkanalgefüllten Zähnen und zunehmender Wurzelkaries im Alter [61]. Allerdings erhöhte sich der Anteil

der wurzelkanalbehandelten Zähne in der Gruppe 76+ auf 11,22 % bei den Männern und 12,65 % bei den Frauen.

Am häufigsten waren Wurzelkanalfüllungen an 2. Prämolaren und 1. Molaren vorhanden. Das steht im Kontrast zur Studie von Schulte et al. 1998, in der vor allem wurzelkanalbehandelte Frontzähne evaluiert wurden [119] und zeigt damit deutlich die Entwicklung der letzten 20 Jahre zunehmend auch die technisch schwierigeren Prämolaren und Molaren endodontisch zu versorgen. Eine steigende Zahl von behandelten Molaren zeigten 1997 bereits Kirkevang et al. im Vergleich zum Jahr 1974. Diese Tendenz wurde in den Folgejahren mehrfach bestätigt [33; 56; 68; 131].

In der Altersgruppe der 18-25 Jährigen stellen die 1. Molaren sogar die Hauptgruppe der endodontisch versorgten Zähne mit 41 %. Als erste Zähne der bleibenden Dentition sind diese prädestiniert für frühe kariöse Läsionen und auch die ersten Wurzelkanalbehandlungen. Sehr selten wurden Unterkieferfrontzähne (1. Inzisivus und 2. Inzisivus) und auch die 3. Molaren endodontisch behandelt. Bei Weisheitszähnen stellt die Pulpitis oder Pulpanekrose in der Regel eine Extraktionsindikation dar [76]. Ausnahmen sind bei kieferorthopädischem Lückenschluss oder geplanter prothetischer Versorgung als Pfeilerzahn gegeben. Durch zahlreiche Variationsmöglichkeiten der Kanalanatomie wie auch der Wurzelkonfiguration sind diese Zähne als komplexe Fälle anzusehen.

Technisch gut gefüllt im Sinne der Länge waren 41,11 % und adäquat obturiert (Homogenität und Dichtigkeit) 72,46 % der wurzelkanalbehandelten Zähne. Die Mehrheit (54,3 %) war zu kurz gefüllt (> 1mm zum Apex) und nur ein geringer Anteil röntgenologisch über den Apex überfüllt (3,0 %).

Diese Ergebnisse bezüglich der adäquaten Länge sind bei strenger Kriteriendefinition vergleichbar mit anderen Autoren aus den 90er Jahren wie Ödesjö et al. mit 41,4 % [95], Saunders et al. mit 41,5 % [116], Hülsmann et al. mit 36,0 % [50] und Weiger et al. mit 41,4 % [139]. Özbaş et al. ermittelten 2011 trotz sehr weit gefasster Kriteriendefinition -zu kurz galt eine Wurzelfüllung erst ab 3 mm Entfernung zu Apex- nur einen Anteil von 22 % mit passender Länge in einer türkischen Population von 438 Patienten [98].

Hinsichtlich der Dichtigkeit und Homogenität haben sich die Werte in den letzten 20 Jahren deutlich verbessert. Diese lagen in den 90ern zwischen 19 % bei Hülsmann et al. [50] und 46 % bei Marques et al. [87]. Allein Eriksen et al. [26] evaluierten mit der vorliegenden Studie vergleichbar hohe Werte schon 1991. Viktorov ermittelte 2006 im deutschsprachigen Raum ebenfalls hohe Dichtigkeit mit 70 % und bezüglich der Länge 59 % adäquate Versorgungen [137]. Eine Verschlechterung der endodontischen Versorgungslage gegenüber dem Jahr 2010 ist aber nicht anzunehmen. Vielmehr ist der geringere Anteil an adäquat gefüllten Zähnen vermutlich auf die weiter gefasste Kriteriendefinition (bis 2 mm zum Apex = suffizient) zurückzuführen. Eine direkte Vergleichbarkeit der Studien ist also nicht gegeben. Weiterhin ist die Beurteilung der Dichtigkeit im zweidimensionalen Röntgenbild grundsätzlich erschwert.

Deutlich bessere Werte bezüglich Länge und Homogenität publizierten Bierenkrant et al. 2008 in einer australischen Studie mit Endodontologen. 91,7 % der Kanäle waren 0-2 mm zum Apex gefüllt, 0-1 mm zum Apex traf noch auf 74 % der Zähne zu [6]. In einer vergleichenden Studie von Alley et al. 2004 waren 98,1 % der von Endodontologen wurzelkanalbehandelten Zähne nach 5 Jahren in situ, bei den Allgemeinzahnärzten hingegen 89,7 % [2].

Positiv ist der geringe Anteil an röntgenologisch überfüllten Kanälen anzusehen. Dieser lag auch bei Hülsmann et al. [50] bei nur 3 Prozent, Sidaravicius et al. ermittelten 1999 hingegen 24,7 % in Litauen [126].

Der Anteil suffizienter Wurzelkanalfüllungen sowohl in Bezug auf die Länge als auch Dichtigkeit und Homogenität lag in der vorliegenden Studie bei 34,0 %. Damit ist nur etwas mehr als ein Drittel der wurzelkanalbehandelten Zähne optimal gefüllt. Einzelne Studien wie Al-Omari et al. in Jordanien ermittelten 2011 noch geringere Anteile suffizienter Wurzelfüllungen mit 27,6 % [3]. Tendenziell höhere Erfolgswerte evaluierten aber schon in den 90ern Imfeld mit 36,0 %, De Cleen et al. mit 49,4 % und Ödesjö et al mit 40,0 % [53; 13; 95].

Wie bereits erörtert unterliegt die röntgenologische Untersuchung zweidimensionaler Orthopantomogramme gewissen Einschränkungen. So können an Molaren, die häufiger Aufbereitungsfehler aufweisen als Frontzähne, aufgrund von Überlagerungseffekten selten alle Kanäle anhand einer Aufnahme beurteilt werden. Im zahnärztlichen Alltag werden solche Zähne abhängig vom klinischen Befund und der röntgenologischen Ersteinschätzung der Panoramaschichtaufnahme gezielt einzeln und gegebenenfalls zusätzlich exzentrisch nachgeröntgt.

Die erschwerte röntgenologische Diagnostik von Aufbereitungsfehlern zeigen Abb. 30 a-b. Im Vergleich werden die Panoramaschichtaufnahme und der Zahnfilm der Region gegenübergestellt. Auf dem Orthopantomogramm ist das frakturierte Feilenelement nicht exakt erkennbar, im Zahnfilm hingegen eindeutig identifizierbar.

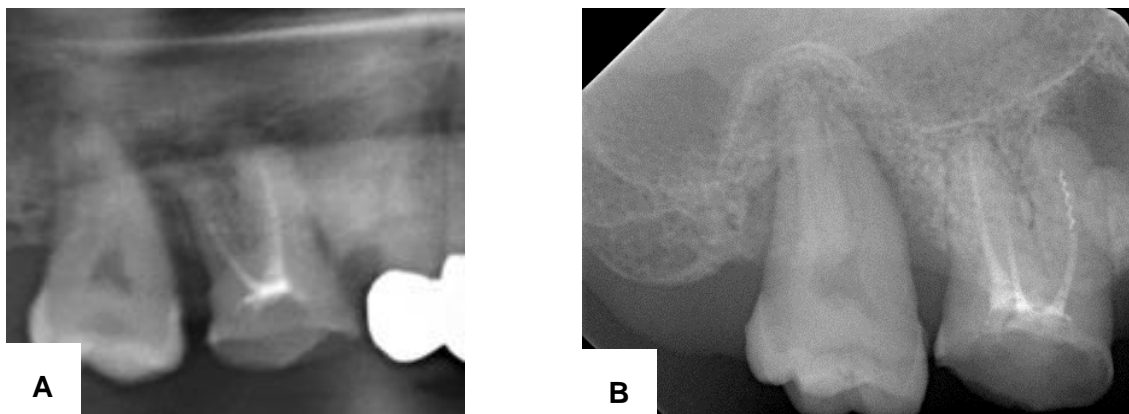


Abb. 30 a-b: Feilenfraktur Zahn 16, a Ausschnitt OPG, b Zahnfilm

In Abb. 31 a-b ist die Instrumentenfraktur hingegen eindeutig anhand der Panoramaschichtaufnahme sowie des Einzelzahnfilms zu diagnostizieren.

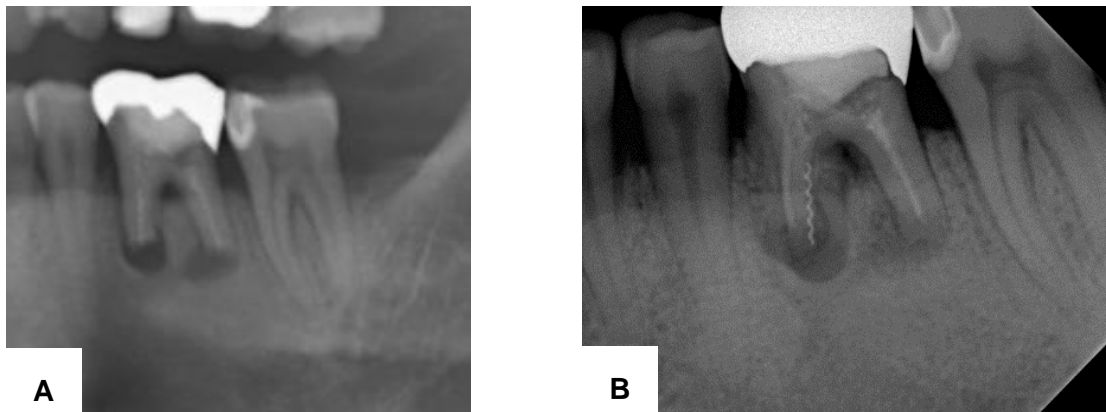


Abb. 31 a-b: Feilenfraktur Zahn 36, a Ausschnitt OPG, b Zahnfilm

Röntgenologisch sichtbare Aufbereitungsfehler traten mit einer Häufigkeit von 7,7 % auf. Dazu gehören Instrumentenfrakturen, Perforationen, Stufenbildung und ungefüllte Wurzelkanäle. Dieser Wert ist diskussionswürdig und die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer Studien ist als gering anzusehen, da die Einstufung der Aufbereitungsfehler unterschiedlichen Systematiken folgt. Viktorov wies beispielsweise zusätzlich die nicht ausreichende Erweiterung der Kanäle als Aufbereitungsfehler aus, mit entsprechend höherer Nennung derselben [137]. Allerdings ist die Definition dieser Merkmalsausprägung nicht eindeutig abgrenzbar und es wurde daher in der vorliegenden Studie davon Abstand genommen, diese zu verwenden.

Allerdings zeigt auch der vorliegende Wert von 7,7 % Aufbereitungsfehlern durchaus die Notwendigkeit und den Bedarf an postgraduierter Weiterbildung und Spezialisierung im Bereich der Endodontie, um einerseits diese Fehlerquote zu senken und auch an komplexen Zähnen nach suboptimaler Erstversorgung die Revisionsbehandlung erfolgreich abschließen zu können.

Stiftversorgungen lagen an fast 30 % der wurzelkanalbehandelten Zähne vor. Adhäsive Füllungsmaterialien ermöglichen heute häufig einen Aufbau der Zähne auch bei geringer Restzahnschubstanz gänzlich ohne Stift, der die Zahnhartsubstanz per se schwächt, dann aber Retentionsfläche bietet. Das Setzen eines Stiftes korrelierte dabei aber nicht mit erhöhten PAI-Werten gegenüber den Zähnen ohne Stift. Die mögliche Kontamination bei der Stiftbohrung und orthograde Reinfektionsgefahr wurden nicht statistisch belegt. Damit bestätigen die vorliegenden Werte die Studienergebnisse von Estrela et al. [28] und Tronstad et al. [134], die ebenfalls den Zusammenhang zwischen Stiftversorgungen und PAI-Werten überprüften und Unabhängigkeit beider Kriterien feststellten. Kvist et al. evaluierten allerdings statistisch signifikant höhere PAI-Werte an Stiftzähnen, sofern die verbleibende Wurzelfüllung weniger als 3 mm Länge aufwies [77].

Positiv in der vorliegenden Population ist der hohe Versorgungsgrad der wurzelkanalgefüllten Zähne mit laborgefertigten Restaurationen (69,6 %) zu vermerken. Als prob-

lematisch ist der Anteil von 7,0 % der endodontisch behandelten Zähne gänzlich ohne koronale Versorgung anzusehen, ebenso die Tatsache, dass 33,5 % aller wurzelkanalbehandelten Zähne röntgenologisch insuffizient bezüglich der Randdichtigkeit der koronalen Versorgung waren. Die laborgefertigten Arbeiten waren zwar häufiger dicht als die Füllungen (68-78 % gegenüber 65 %), dennoch gab es auch in dieser Kategorie Verbesserungspotenzial darin die Reinfektion des Kanalsystems langfristig zu vermeiden. Vor diesem Hintergrund sollten die Compliance der Patienten, die verwendeten Materialien und die Behandlungsausgangslage überprüft werden, um herauszufiltern, weshalb die Ergebnisse in diesem Punkt hinter den Erwartungen zurückblieben. Mögliche Ansatzpunkte sind in provisorischen Füllmaterialien mit geringerer Haltbarkeit, verzögerter Überkronung nach Wurzelkanalbehandlung, reduzierter Patientencompliance bei Behandlung und Recall sowie inadäquater Trockenlegung zu sehen.

Die Brücken im Ober- und Unterkiefer wurden wegen der Deformation des Unterkiefers durch die Muskulatur bei jeder Mundöffnung und Mahlbewegung gesondert ausgewertet [73; 107]. Bemerkenswert ist dabei, dass nur ein gutes Drittel der Brücken überhaupt im Unterkiefer zu finden waren, diese jedoch mit 31,4 % nicht signifikant häufiger undicht waren als die Brücken im Oberkiefer mit 29,7 %.

Ein Beispiel für eine Unterkieferbrückenversorgung mit deutlichem Randspalt aber ohne wurzelkanalbehandelten Zahn im Vergleich zu einer suffizienten Versorgung zeigen Abb. 32 a und b.

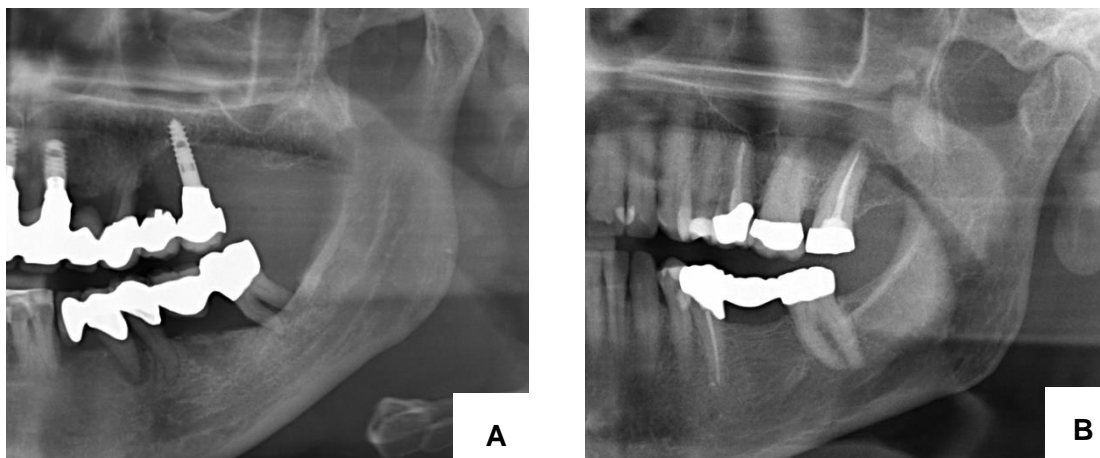


Abb. 32 a-b: Unterkieferbrücken im Vergleich, a insuffizient, b suffizient

Anhand Umfrageergebnissen am Beispiel der Kofferdamverwendung können Diskrepanzen zwischen Lehrmeinung/Forschungsergebnissen und dem Behandlungsalltag in der endodontischen Therapie der zahnärztlichen Praxis aufgezeigt werden. So gaben in einer Studie der Universität Mainz im Jahr 2006 42,9 % der Zahnärzte an Kofferdam gelegentlich zu verwenden, 19,2 % stets und 37,9 % nutzen dieses Verfahren nie [132]. Befragte man hingegen Studenten im Examssemester fühlten sich 98,5 % sicher im Umgang mit Kofferdam bei Erwachsenen und erachteten diesen als sinnvoll bei endodontischen Behandlungen [113]. Laut einer irischen Umfrage von Mala et al.

verwendeten 98 % der Studenten Kofferdam bei Erwachsenen routinemäßig. 62 % waren aber auch der Meinung, dass der Einsatz von Kofferdam postgradual in eigener Praxis sinken werde. [85]

Whitworth et al. ermittelten im Jahr 2000 in einer britischen Studie, dass weniger als ein Fünftel der befragten Zahnärzte regelmäßig Kofferdam verwendeten, 60 % sogar nie. Die Lehrmeinung der besuchten Universität hatte dabei signifikanten Einfluss auf die Verwendung von Kofferdam in der eigenen Praxis. Außerdem desinfizierten deutlich mehr Teilnehmer das Kanalsystem mit Natriumhypochlorit sofern sie unter Kofferdam arbeiteten im Vergleich zu den Kollegen, die Kofferdam nicht verwendeten (71 % zu 38 %). [140]

Als Hauptgründe für den Nichtgebrauch von Kofferdam wurden mangelnder Patientenkomfort und erhöhter Zeitbedarf angegeben [140; 113]. Jedoch wurden diese Argumente von den Anwendern als deutlich unproblematischer eingeschätzt als in der Gruppe der Nichtanwender. [140]

Der große Nutzen der Kofferdamverwendung in der Endodontie wird von einer aktuellen Studie von Lin et al. (2014) unterstrichen. Anhand von über 500.000 Zähnen belegten sie eine signifikant höhere Überlebensrate für initial unter Kofferdam wurzelkanalbehandelte Zähne nach mehr als drei Jahren gegenüber denen ohne Kofferdamanwendung. [81]

Es bleibt abzuwarten, ob diese aktuellen Forschungsergebnisse Auswirkungen auf den endodontischen Behandlungsalltag haben werden.

5.2.3 Korrelationen

Die beiden qualitativen Kriterien der Wurzelkanalfüllung Länge und Dichtigkeit korrelierten positiv miteinander. So waren „flush“ gefüllte Zähne häufiger auch dicht obturiert als zu kurz gefüllte. Ebenso waren die Zähne mit zu kurz gefüllten Kanälen häufiger undicht oder inhomogen.

Die Länge der Wurzelkanalfüllung, die Dichtigkeit/Homogenität und die Qualität der koronalen Versorgung hängen mit der apikalen Gesundheit eines Zahnes zusammen. Gemäß Odds ratio war das Risiko der Ausbildung einer apikalen Entzündung um das 1,3 fache bei einer undichten, um das 2,8 fache bei einer zu kurzen Wurzelkanalfüllung und um das 2,9 fache bei einer insuffizienten Deckversorgung erhöht. Alle drei Faktoren stehen damit in Zusammenhang mit den PAI-Werten, allerdings sind die Einflussfaktoren Länge und koronale Versorgung entscheidender als die Dichtigkeit.

Selektiert man nun die Fälle, in denen eine adäquate Wurzelkanalfüllung (dicht und flush) oder eine inakzeptable Wurzelkanalfüllung (undicht und short) vorlagen, so trafen diese beiden Möglichkeiten auf 2.467 Zähne zu. Im ersten Fall hatten nur 22,6 % der Zähne eine apikale Aufhellung, im zweiten hingegen 60,7 % (Odds Ratio 5,9).

Gänzlich optimal versorgte Zähne mit suffizienter Deckversorgung und adäquater Wurzelkanalfüllung (n=1084) hatten in nur 15,4 % der Fälle eine apikale Parodontitis - zum

Vergleich die Gruppe der Zähne mit inadäquater Wurzelkanalfüllung und auch insuffizienter koronaler Versorgung (n=378) in 70,9 % der Fälle (Odds Ratio 15,5).

Abschließend ist festzuhalten, dass an wurzelkanalbehandelten Zähnen bei der einzelnen Betrachtung der suffizienten Länge, Dichtigkeit und koronalen Versorgung bessere PAI-Werte vorlagen als Zähnen mit insuffizienter Wurzelkanalfüllung und koronaler Versorgung. Darüber hinaus stieg der Anteil der Zähne mit einer gesunden Periapikalregion bei Kombination der suffizienten Kriterien. In der Gegenprobe mit insuffizienter Länge, Dichtigkeit und koronaler Versorgung erhöhte sich der Anteil der Zähne mit einem PAI ≥ 3 mit der Anzahl der kombinierten insuffizienten Kriterien.

Der Idealfall einer adäquaten Wurzelkanalfüllung mit suffizienter koronaler Versorgung hatte in der vorliegenden Studie eine Erfolgsquote von 83,58 % bemessen am PAI-Wert. Eine insuffiziente Wurzelkanalfüllung mit undichter koronaler Versorgung hatte dagegen eine Erfolgsquote von 29,10 % bemessen am PAI-Wert.

Die Einflussfaktoren auf die apikale Gesundheit wurzelkanalbehandelter Zähne wurden von mehreren Autoren mit divergierenden Ergebnissen bezüglich der Gewichtung untersucht. Einen Zusammenhang zwischen der Qualität der Wurzelfüllung und der koronalen Versorgung mit dem periapikalen Index evaluierten schon 1986 Petersson et al., 1995 Ray und Trope, später Boucher et al., Estrela et al., Kabak und Abbott, Gulsahi et al., Kirkevang et al. und weitere Forschergruppen [102; 105; 8; 127; 28; 58; 39; 69].

Dabei unterschieden sich die Autoren in der Gewichtung der Einflussfaktoren aufgrund ihrer Studienergebnisse. Nach der Studie von Ray und Trope ist die koronale Versorgung für die apikale Gesundheit entscheidender als die Qualität der Wurzelkanalfüllung [105]. Dies bestätigten 2011 auch Özbaş et al. [98] allerdings anhand einer kleinen Population. Siqueira et al. [127], Jiménez-Pinzón et al. [56] und Tavares et al. [131] hingegen stellten eine stärkere Korrelation zwischen dem periapikalen Index und der Qualität der Wurzelkanalfüllung fest, als zwischen PAI und Suffizienz der koronalen Versorgung. Dies bekräftigten Estrela et al., allerdings mit der Einschränkung, dass eine Deckversorgung vorhanden sein muss. Andernfalls stelle die fehlende Versorgung den limitierenden Faktor dar. Bei vorhandener koronaler Versorgung steige das Risiko einer apikalen Parodontitis je insuffizienter die Wurzelfüllung sei [28]. Anhand einer südkoreanischen Population ermittelte Kim 2010, dass die Länge der Wurzelkanalfüllung der prognostisch entscheidende Faktor bei der Ausprägung einer apikalen Parodontitis sei. Dabei sei die Qualität beziehungsweise das Vorhandensein einer koronalen Versorgung zweitrangig [65]. Tronstadt et al. [134] evaluierten ebenfalls die Wurzelkanalfüllung als entscheidenden Faktor für den Langzeiterfolg.

Hommez et al. analysierten und verifizierten anhand von 775 Zähnen die koronale Versorgung und die Wurzelkanalfüllung als Einflussparameter auf das Entstehen/Nichtentstehen einer apikalen Osteolyse [46]. Ricucci und Bergenholtz kamen 2003 hingegen zu stark divergierenden Ergebnissen [110]. Das Vorhandensein einer

koronalen Versorgung sei bei adäquater Wurzelkanalfüllung nicht entscheidend für den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung bemessen am PAI-Wert [110].

Die vorliegende Studie (n=4627) bestätigt dabei die Ergebnisse von Tronstad et al. (n=1001) [134], Siqueira et al. (n=2051) [127] sowie Tavares et al. (n=1035) [131] und steht konträr zu denen von Ray und Trope (n=1010) [105]. Zähne mit korrekter Wurzelkanalfüllung und insuffizienter koronaler Versorgung wiesen in 39,5 % der Fälle dieser Studie eine apikale Parodontitis auf, Zähne mit schlechter Wurzelkanalfüllung und guter koronaler Versorgung hingegen in 53,1 % der Fälle. Dementsprechend ist die Güte der Wurzelkanalfüllung als übergeordneter Prognosefaktor für die Ausprägung einer apikalen Parodontitis gegenüber der koronalen Versorgung anzusehen.

Die beste Prognose für die apikale Gesundheit hat nach der vorliegenden Studie ein Zahn bei einer Lege-artis-Behandlung mit adäquater Wurzelkanalfüllung und suffizienter koronaler Versorgung. Das belegten auch die Studien von Tronstad et al. [134], Siqueira et al. [127], Ray und Trope [105], Tavares et al. [131] und Estrela et al. [28]. Die in der vorliegenden Studie ermittelte klinisch erreichbare Erfolgsquote einer Wurzelkanalbehandlung von 83,58 % bei Idealversorgung gilt es anzustreben, um den Anteil periapikal gesunder wurzelbehandelter Zähne ausgehend von 57,92 % bestmöglich zu erhöhen.

Der dafür notwendigen Optimierung der Behandlungsabläufe sollte sich jeder Anwender stellen. Aufgabe der Klinken und forschenden Einrichtungen bleibt die Analyse und Gewichtung der Einflussfaktoren auf die Erfolgsaussichten sowie die evidenzbasierte Prüfung und Überarbeitung der Leitlinien in der Endodontie. Das Ziel ist, dass die Patienten flächendeckend von den Verbesserungen der Behandlungsmethoden und der Materialforschung profitieren. Die Stagnation der Erfolgsaussichten einer Wurzelkanalbehandlung in den letzten 20 Jahren, bemessen am periapikalen Index, erfordert es bestehende Ansätze und Handlungsweisen in der Endodontie neu zu überdenken [21; 101].

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden die Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalbehandlungen sowie die Prävalenz von apikalen Parodontitiden in einer Münchner Population untersucht. 2.574 Panoramaschichtaufnahmen des Jahres 2010 der Zahnklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München wurden nach Ausschluss von Mehrfachanfertigungen, Milch- und Wechselgebissen sowie von Bildern mit technisch-qualitativen Mängeln in die Studie aufgenommen. Gegenstand der Beurteilung waren die Anzahl, Länge und Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen sowie das Vorhandensein apikaler Parodontitiden und deren Ausprägungsgrade. Weiterhin wurde die koronale Versorgung der endodontisch behandelten Zähne nach Art und Qualität erfasst, ebenso Aufbereitungsfehler und Stiftversorgungen. Das mittlere Alter der in der Studie untersuchten Personen lag bei 52,66 Jahren. Männer waren mit 51,48 % geringfügig stärker vertreten als Frauen mit 48,52 %. Im Durchschnitt hatte ein Patient 22,8 Zähne und 65 % der Patienten mindestens eine Wurzelkanalfüllung. Mehr als zwei Drittel aller Studienteilnehmer wiesen mindestens einen Zahn mit apikaler Parodontitis auf. Am häufigsten wurden 2. Prämolaren und 1. Molaren endodontisch behandelt, sehr selten hingegen 3. Molaren.

Bereits 1997 hatten Kirkevang et al. [68] eine steigende Zahl wurzelkanalbehandelter Molaren im Vergleich zum Jahr 1974 erhoben. Diese Tendenz wurde in den Folgejahren mehrfach bestätigt [33; 56; 131].

Von den endodontisch behandelten Zähnen hatten in der vorliegenden Studie 39 % apikale Osteolysen, von der Gesamtheit aller Zähne hingegen nur 4 %. Damit stellt eine Wurzelkanalbehandlung einen Risikoindikator für die apikale Gesundheit dar.

Im internationalen Vergleich liegt der in dieser Untersuchung ermittelte Anteil von 39 % im Mittelfeld verglichen mit Özbaş et al. [98], Kirkevang et al. [70], Dugas et al. [19] und De Moor et al. [14]. Höchstwerte um 60 % und mehr evaluierten Kalender et al. [59], Mukhaimer et al. [93], Touré et al. [133], Georgopoulou et al. [33] und Jiménez-Pinzón et al. [56]. In der Münchner Population zeigten wurzelkanalbehandelte Molaren deutlich öfter eine periapikale Transluzenz als Frontzähne oder Prämolaren. 70 % der wurzelgefüllten Zähne waren mit laborgefertigten Restaurationen versorgt. Es wurde kein Zusammenhang zwischen vorhandener Stiftversorgung und einem erhöhten periapikalen Index (PAI) ermittelt. Technisch adäquat obturiert bezüglich Homogenität und Dichtigkeit waren 72,46 % der wurzelkanalbehandelten Zähne, im Sinne einer suffizienten Länge 41,11 %. Die Mehrheit der Zähne (54,3 %) war zu kurz gefüllt. Dies wurde gemäß der Metanalyse von Schaeffer et al. mit einem Abstand von mehr als 1 mm zum Apex definiert [117]. Nur ein geringer Anteil von 3,0 % der wurzelkanalbehandelten Zähne war röntgenologisch überfüllt.

Die Ergebnisse bezüglich der adäquaten Länge sind bei strenger Kriteriendefinition vergleichbar mit anderen Autoren aus den 90er Jahren wie Ödesjö et al. mit 41,4 %

[95], Saunders et al. mit 41,5 % [116], Hülsmann et al. mit 36,0 % [50] und Weiger et al. mit 41,4 % [139]. Özbaş et al. ermittelten 2011 trotz weit gefasster Kriteriendefinition - als zu kurz galt eine Wurzelfüllung erst ab 3 mm Entfernung zum Apex - nur einen Anteil von 22 % mit adäquater Länge in einer türkischen Population von 438 Patienten [98]. Hinsichtlich der Dichtigkeit und Homogenität aber haben sich die Werte in den letzten 20 Jahren deutlich verbessert. Diese lagen in den 90ern zwischen 19 % bei Hülsmann et al. [50] und 46 % bei Marques et al. [87]. Allein Eriksen et al. [26] evaluierten mit der vorliegenden Studie vergleichbar hohe Werte schon 1991. Viktorov ermittelte 2006 im deutschsprachigen Raum ebenfalls hohe Dichtigkeit mit 70 % und bezüglich der Länge 59 % adäquate Versorgungen [137].

Mittels Odds Ratio und Chi-Quadrat-Test wurden positive Korrelationen zwischen Suffizienz der Wurzelkanalfüllung und apikaler Gesundheit wie auch zwischen Qualität der koronalen Versorgung und periapikalem Index ermittelt. Apikale Aufhellungen waren an wurzelkanalbehandelten Zähnen mit unzureichender Wurzelkanalfüllung (zu kurz & undicht) häufiger als bei undichter koronaler Versorgung (Odds Ratio 5,9 vs. Odds Ratio 2,9). Die Erfolgchance einer Wurzelkanalbehandlung bemessen am PAI 1 bis 2 wurde mit 84 % evaluiert, sofern eine in Länge und Dichtigkeit adäquate Wurzelkanalfüllung und eine akzeptable koronale Versorgung vorlagen. Hingegen verminderte sich diese auf 29 % für Zähne mit insuffizienter Wurzelkanalfüllung und inakzeptabler koronaler Versorgung (Odds Ratio 15,5).

Nach einer Studie von Ray und Trope (n=1010⁵) ist die koronale Versorgung für die apikale Gesundheit entscheidender als die Qualität der Wurzelkanalfüllung [105]. Dies bestätigten 2011 auch Özbaş et al. allerdings anhand einer kleinen Population [98]. Siqueira et al. (n=2051), Tavares et al. (n=1035) und Jiménez-Pinzón et al. (n=93) hingegen stellten eine stärkere Korrelation zwischen dem periapikalen Index und der Qualität der Wurzelkanalfüllung fest, als zwischen PAI und Suffizienz der koronalen Versorgung [127; 131; 56]. Tronstadt et al. (n=1001) stellten ebenfalls die Beschaffenheit der Wurzelkanalfüllung als maßgeblichen Faktor für den Langzeiterfolg heraus [134].

Zähne mit korrekter Wurzelkanalfüllung und insuffizienter koronaler Versorgung wiesen in 39,5 % der Fälle dieser Studie eine apikale Parodontitis auf, Zähne mit inadäquater Wurzelkanalfüllung und akzeptabler koronaler Versorgung hingegen in 53,1 % der Fälle. Dementsprechend ist die Güte der Wurzelkanalfüllung als übergeordneter Prognosefaktor für die Ausprägung einer apikalen Parodontitis gegenüber der koronalen Versorgung anzusehen. Die vorliegende Studie bestätigt dabei die Ergebnisse von Tronstad et al. [134], Siqueira et al. [127] sowie Tavares et al. [131] und steht konträr zu denen von Ray und Trope [105].

Somit gilt es klinisch die bestmögliche Aussicht auf apikale Gesundheit durch eine fachgerechte Wurzelkanalfüllung aber auch eine adäquate koronale Versorgung anzustreben.

⁵ Anzahl der wurzelkanalbehandelten Zähne im Studienkollektiv

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Kanalerschließung des mb1 und mb2 an Zahn 26 unter mikroskopischer Vergrößerung	1
Abb. 2: Bewegungsablauf bei einem Panoramaschichtgerät (nach Pasler 2003) [122].	8
Abb. 3: Digitaler Volumentomograph mit einem kegelförmigen Strahlenbündel [122]....	8
Abb. 4: Pforten pathologischer Prozesse zwischen Pulpa-Dentin-System und Mundhöhle/Parodont [49]	13
Abb. 5: Ansicht der Benutzeroberfläche der Access-Datenbank.....	24
Abb. 6 a und b: Bandbreite des Versorgungsgrades innerhalb der Studie, a hochwertig, b insuffizient und unversorgt	25
Abb. 7 a-b: Kriterium Dichtigkeit, a undicht und inhomogen, b dicht und homogen	26
Abb. 8 a-c: Kriterium Länge; a mesialer Kanal „short“, b alle Kanäle „flush“, c mesialer Kanal „long“	26
Abb. 9 a-b: Kriterium ungefüllter Kanal, a nur Stift ohne Wurzelkanalfüllung, b mehrere ungefüllte Kanäle	27
Abb. 10 a-b: Kategorie Aufbereitungsfehler „Instrumentenfraktur“, a im OPG, b im Zahnfilm.....	27
Abb. 11 a-b: Kategorie Aufbereitungsfehler „Perforation“, a im OPG, b im Zahnfilm ...	27
Abb. 12 a-c: Kriterium strip/ledge, a Begradigung, b und c Stufenbildung.....	28
Abb. 13 a-b: Kategorie Stift, a adhäsiv, b gegossen.....	28
Abb. 14 a-c: Kategorie koronale Versorgung und Qualität, a unversorgt, inakzeptabel, b Füllung, inakzeptabel, c Brücke, inakzeptabel	29
Abb. 15 a-c: Kriterium koronale Versorgung und Qualität, a Krone, akzeptabel, b Füllung, akzeptabel, c Brücke, akzeptabel.....	29
Abb. 16: Referenzbilder für den periapikalen Index (PAI) nach Ørstavik [97].....	30
Abb. 17 a-b: Kriterium „apikale Parodontitis“, a tiefe Füllung und apikale Aufhellung (PAI 4), b insuffiziente Wurzelfüllung und apikale Aufhellung (PAI 5)	30
Abb. 18: Altersverteilung in der Studienpopulation	32
Abb. 19: Boxplot-Diagramm Zahnzahl zu Altersgruppe.....	34
Abb. 20: Verteilung der apikalen Parodontitis innerhalb des Patientenkollektivs	35
Abb. 21: Anteil der Zähne mit apikaler Parodontitis in den Altersgruppen und Geschlechtern	37
Abb. 22: Anteil der wurzelkanalgefüllten Zähne in den Altersgruppen und Geschlechtern	39
Abb. 23: Durchschnittliche Anzahl der Wurzelkanalfüllungen in den Altersgruppen	40
Abb. 24: Verteilung der Wurzelkanalfüllungen nach der Zahnart.....	42
Abb. 25: Verteilung der Dichtigkeit und Homogenität der Wurzelfüllungen	42
Abb. 26: Verteilung der Lage der Wurzelkanalfüllung zum Apex	43
Abb. 27: Qualität der koronalen Versorgung an wurzelkanalbehandelten Zähnen.....	44
Abb. 28: Anteil der Zähne mit PAI 1-2 innerhalb der Population mit der/den entsprechenden Merkmalsausprägung(en).....	53
Abb. 29 a-c: transparente Präparate endodontisch behandelter Molaren	61
Abb. 30 a-b: Feilenfraktur Zahn 16, a Ausschnitt OPG, b Zahnfilm	69
Abb. 31 a-b: Feilenfraktur Zahn 36, a Ausschnitt OPG, b Zahnfilm	70
Abb. 32 a-b: Unterkieferbrücken im Vergleich, a insuffizient, b suffizient	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Internationale epidemiologische Studien über die Prävalenz apikaler Parodontitiden und endodontischer Versorgungen	19
Tabelle 2: Alters- und Geschlechtsverteilung der Studienpopulation	32
Tabelle 3: Arithmetisches Mittel der Zahnanzahl nach Altersgruppen	33
Tabelle 4: Anzahl der Zähne mit apikaler Parodontitis je OPG	36
Tabelle 5: Patienten mit mindestens einer apikalen Parodontitis nach Alter und Geschlecht	37
Tabelle 6: Anzahl der Zähne mit Wurzelkanalfüllung je OPG	38
Tabelle 7: Patienten mit mindestens einer Wurzelkanalfüllung nach Alter	40
Tabelle 8: Anzahl und Anteil der Zähne mit Wurzelfüllungen	41
Tabelle 9: Nennungshäufigkeit der Aufbereitungsfehler nach Art und Zahngruppen ...	43
Tabelle 10: Verteilung der koronalen Versorgung nach Art und Zahngruppen	44
Tabelle 11: Verteilung der Dichtigkeit zur Art der koronalen Versorgung	45
Tabelle 12: Kreuztabelle koronale Versorgung zu Qualität der koronalen Versorgung	45
Tabelle 13: Auftreten und Verteilung des PAI Score nach der Zahnart	46
Tabelle 14: Anzahl und Verteilung der wurzelkanalbehandelten Molaren mit PAI 3-5.	47
Tabelle 15: Verteilung der PAI-Werte an den Zähnen mit Aufbereitungsfehlern	48
Tabelle 16: Verteilung der PAI Werte an den Zähnen mit bzw. ohne Stiftversorgung..	48
Tabelle 17: Anzahl und Verteilung der Dichtigkeit zur Länge der Wurzelkanalfüllung..	49
Tabelle 18: Anzahl der PAI Nennungen nach dem Kriterium Dichtigkeit und Länge....	50
Tabelle 19: Anzahl der PAI Nennungen nach der Qualität der koronalen Versorgung	51
Tabelle 20: PAI-Werte nach Anzahl der Nennung bezüglich der Wurzelkanalfüllung „dicht & am Apex“ und „undicht & ≥ 1 mm zum Apex“	52
Tabelle 21: PAI-Werte nach Anzahl der Nennung bezüglich Wurzelkanalfüllung und koronaler Versorgung „dicht, am Apex & suffiziente KV“ und „undicht, ≥ 1 mm zum Apex & insuffiziente KV“	53
Tabelle 22: PAI-Werte nach Anzahl der Nennung und Häufigkeit bezüglich Wurzelkanalfüllung und koronaler Versorgung „dicht, am Apex & insuffiziente KV“ und „undicht, ≥ 1 mm zum Apex & suffiziente KV“	54
Tabelle 23: Übersicht Merkmalskombinationen zu PAI Werten	55

Literaturverzeichnis

1. Ahlqwist M, Halling A, Hollender L: Rotational panoramic radiography in epidemiological studies of dental health. Comparison between panoramic radiographs and intraoral full mouth surveys. *Swed Dent J* 1986, Band 10: 73–84.
2. Alley BS, Gray Kitchens G, Alley LW, Eleazer PD: A comparison of survival of teeth following endodontic treatment performed by general dentists or by specialists. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004, Band 98: 115–118.
3. Al-Omari MA, Hazaa A, Haddad F: Frequency and distribution of root filled teeth and apical periodontitis in a Jordanian subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011, Band 111: 59–65.
4. Barthel CR, Zimmer S, Trope M: Relationship of radiologic and histologic signs of inflammation in human root-filled teeth. *J Endod* 2004, Band 30: 75–79.
5. Beaglehole R, Bonita R, Kjellström T: Einführung in die Epidemiologie. Huber, Bern, Göttingen, Toronto, Seattle 1997
6. Bierenkrant DE, Parashos P, Messer HH: The technical quality of nonsurgical root canal treatment performed by a selected cohort of Australian endodontists. *Int Endod J* 2008, Band 41: 561–570.
7. Boltacz-Rzepkowska E, Pawlicka H: Radiographic features and outcome of root canal treatment carried out in the Łódź region of Poland. *Int Endod J* 2003, Band 36: 27–32.
8. Boucher Y, Matossian L, Rilliard F, Machtou P: Radiographic evaluation of the prevalence and technical quality of root canal treatment in a French subpopulation. *Int Endod J* 2002, Band 35: 229–238.
9. Brynolf I: A histological and roentgenological study of the periapical region of human upper incisors. *Odontol Revy* 1967, Band 18
10. Buckley M, Spångberg LSW: The prevalence and technical quality of endodontic treatment in an American subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995, Band 79: 92–100.
11. Covello F, Franco V, Schiavetti R, Clementitni M, Mannocci A, Ottria L, Costacurta M: Prevalence of apical periodontitis and quality of endodontic treatment in an Italian adult population. *Oral & Implants* 2010, Band 3: 9–14.
12. Dammaschke T, Steven D, Kaup M, Ott HR: Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. *J Endod* 2003, Band 29: 638–643.
13. De Cleen MJ, Schuurs AH, Wesselink PR, Wu MK: Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population. *Int Endod J* 1993, Band 26: 112–119.
14. De Moor RJ, Hommez GM, de Boever JG, Delmé KI, Martens GE: Periapical health related to the quality of root canal treatment in a Belgian population. *Int Endod J* 2000, Band 33: 113–120.
15. De Paula-Silva FWG, Wu MK, Leonardo MR, da Silva LAB, Wesselink PR: Accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography scans in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *J Endod* 2009, Band 35: 1009–1012.
16. Deutsche Gesellschaft für Medizinische Informatik Bund Epidemiologie e.V: Epidemiologie. <http://www.gmds.de/fachbereiche/epidemiologie/index.php>. [Stand: 10.06.2013].

17. Dieck W: Archiv und Atlas der normalen und pathologischen Anatomie in typischen Röntgenbildern: Anatomie und Pathologie der Zähne und Kiefer im Röntgenbilde mit besonderer Berücksichtigung der Aufnahmetechnik. Gräfe & Sillem, Hamburg 1911
18. Doyle SL, Hodges JS, Pesun IJ, Law AS, Bowles WR: Retrospective cross sectional comparison of initial nonsurgical endodontic treatment and single-tooth implants. *J Endod* 2006, Band 32: 822–827.
19. Dugas NN, Lawrence HP, Teplitsky PE, Pharoah MJ, Friedman S: Periapical health and treatment quality assessment of root-filled teeth in two Canadian populations. *Int Endod J* 2003, Band 36: 181–192.
20. Eckerbom M, Andersson JE, Magnusson T: Interobserver variation in radiographic examination of endodontic variables. *Endod Dent Traumatol* 1986, Band 2: 243–246.
21. Eckerbom M, Flygare L, Magnusson T: A 20-year follow-up study of endodontic variables and apical status in a Swedish population. *Int Endod J* 2007, Band 40: 940–948.
22. Edelhoff D, Heidemann D, Kern M, Weigl P: Aufbau endodontisch behandelter Zähne. Stellungnahme der DGZMK, DGZPW und DGZ.
http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Aufbau_endodontisch_behandelter_Zaehne.pdf. [Stand: 26.08.2013].
23. El Ayouti A, Hülber-J M, Judenhofer MS, Connert T, Mannheim JG, Löst C, *et al.*: Apical Constriction: Location and Dimensions in Molars-A Micro-Computed Tomography Study. *J Endod* 2014, Band 40: 1095–1099.
24. Engelhardt S, Huch R, Jürgens KD: Mensch, Körper, Krankheit. Anatomie, Physiologie, Krankheitsbilder ; Lehrbuch und Atlas für die Berufe im Gesundheitswesen. Elsevier, Urban & Fischer, München 2007
25. Er O, Sagsen B, Maden M, Cinar S, Kahraman Y: Radiographic technical quality of root fillings performed by dental students in Turkey. *Int Endod J* 2006, Band 39: 867–872.
26. Eriksen HM, Bjertness E: Prevalence of apical periodontitis and results of endodontic treatment in middle-aged adults in Norway. *Endod Dent Traumatol* 1991, Band 7: 1–4.
27. Eriksen HM, Kirkevang LL, Petersson K: Endodontic epidemiology and treatment outcome: general considerations. *Endod Topics* 2002, Band 2: 1–9.
28. Estrela C, Leles C, Hollanda A, Moura M, Pecora J: Prevalence and risk factors of apical periodontitis in endodontically treated teeth in a selected population of Brazilian adults. *Brazilian Dental Journal* 2008, Band 19: 34–39.
29. Fox K, Gutteridge DL: An in vitro study of coronal microleakage in root-canal-treated teeth restored by the post and core technique. *Int Endod J* 1997, Band 30: 361–368.
30. Freitag V, Weber OH: Vergleichende Bewertung periapikaler Befunde auf Zahnfilmen und Orthopantomogrammen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1984: 173–177.
31. Frisk F, Hugoson A, Hakeberg M: Technical quality of root fillings and periapical status in root filled teeth in Jönköping, Sweden. *Int Endod J* 2008, Band 41: 958–968.
32. Gargiulo AW, Wentz F M, Orban B: Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans. *Journal of Periodontology* 1961, Band 32: 261–267.
33. Georgopoulou MK, Spanaki-Voreadi AP, Pantazis N, Kontakiotis EG: Frequency and distribution of root filled teeth and apical periodontitis in a Greek population. *Int Endod J* 2005, Band 38: 105–111.

34. Giesen T (Hrsg): Röntgenverordnung. Neubekanntmachung vom 30. April 2003; Textausgabe mit Einführung. Rechtswissenschaften und Verwaltung. Kohlhammer, Stuttgart 2006
35. Goldman M, Pearson AH, Darzenta N: Endodontic success - who's reading the radiograph? Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1972, Band 33: 432–437.
36. Gordis L: Epidemiologie. Kilian, Marburg 2001
37. Grasser H, Barth HH: Die Diagnostik von Interdentalkaries und apikaler Ostitis im Vergleich zwischen Orthopantomogramm und Zahnfilm. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1987, Band 42: 818–821.
38. Gröndahl HG, Jönsson E, Lindahl B: Diagnosis of periapical osteolytic processes with orthopantomography and intraoral full mouth radiography--a comparison. Swed Dent J 1970, Band 63: 679–686.
39. Gulsahi K, Gulsahi A, Ungor M, Genc Y: Frequency of root-filled teeth and prevalence of apical periodontitis in an adult Turkish population. Int Endod J 2008, Band 41: 78–85.
40. Haapasalo M, Shen Y: Evolution of nickel-titanium instruments: from past to future. Endod Topics 2013, Band 29: 3–17.
41. Halse A, Molven O, Fristad I: Diagnosing periapical lesions - disagreement and borderline cases. Int Endod J 2002, Band 35: 703–709.
42. Hansen EK, Asmussen E, Christiansen NC: In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam. Endod Dent Traumatol 1990, Band 6: 49–55.
43. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Dt. Zahnärzte-Verl., Köln 2009
44. Hemmings KW, King PA, Setchell DJ: Resistance to torsional forces of various post and core designs. J Prosthet Dent 1991, Band 66: 325–329.
45. Heppeler J, Hülsmann M: Prevalence of root canal fillings, apical periodontitis, and endodontic treatment needs in a selected German population in 1994 and 2004. ENDO (Lond Engl) 2010, Band 4: 189–200.
46. Hommez GM, Coppens CRM, De Moor RJ: Periapical health related to the quality of coronal restorations and root fillings. Int Endod J 2002, Band 35: 680–689.
47. Hör D: Die Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge. Endodontie 2013, Band 64: 1081–1085.
48. Howe CA, Mc Kendry DJ: Effect of endodontic access preparation on resistance to crown-root fracture. J Am Dent Assoc 1990, Band 121: 712–715.
49. Hülsmann M: Endodontie. Thieme, Stuttgart 2008
50. Hülsmann M, Lorch V, Franz B: Untersuchung zur Häufigkeit und Qualität von Wurzelfüllungen. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 1991, Band 46: 296–299.
51. Hülsmann M, Schäfer E: "Good clinical practice": Die Wurzelkanalbehandlung. Stellungnahme des Endodontie-Beirats der DGZ.
http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/Good_clinical_practice:_Die_Wurzelkanalbehandlung.pdf. [Stand: 19.08.2013].
52. Huumonen S: Röntgenologische Manifestationen der Parodontitis apicalis. Endodontie 2008, Band 17: 23–35.
53. Imfeld TN: Prevalence and quality of endodontic treatment in an elderly urban population of Switzerland. J Endod 1991, Band 17: 604–607.
54. Iqbal MK, Kim S: A review of factors influencing treatment planning decisions of single-tooth implants versus Preserving Natural Teeth with Nonsurgical Endodontic Therapy. J Endod 2008, Band 34: 519–529.

55. Isidor F, Odman P, Brøndum K: Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts. *Int J Prosthodont* 1996, Band 9: 131–136.
56. Jiménez-Pinzón A, Segura-Egea JJ, Poyato-Ferrera M, Velasco-Ortega E, Ríos-Santos JV: Prevalence of apical periodontitis and frequency of root-filled teeth in an adult Spanish population. *Int Endod J* 2004, Band 37: 167–173.
57. Joint Position Statement of the American Association of Endodontists and the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology: Use of cone-beam computed tomography in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011, Band 111: 234–237.
58. Kabak Y, Abbott PV: Prevalence of apical periodontitis and the quality of endodontic treatment in an adult Belarusian population. *Int Endod J* 2005, Band 38: 238–245.
59. Kalender A, Orhan K, Aksoy U, Basmaci F, Er F, Alankus A: Influence of the quality of endodontic treatment and coronal restorations on the prevalence of apical periodontitis in a Turkish Cypriot population. *Med Princ Pract* 2013, Band 22: 173–177.
60. Kayahan MB, Malkondu Ö, Canpolat C, Kaptan F, Bayırlı G, Kazazoglu E: Periapical health related to the type of coronal restorations and quality of root canal fillings in a Turkish subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008, Band 105: e58.
61. Kern R, Krämer J, Micheelis W: Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie. <http://www.bzaek.de/fileadmin/PDFs/presse/dms/brosch.pdf>. [Stand: 14.11.2012].
62. Kersten HW, Wesselink PR, Thoden van Velzen SK: The diagnostic reliability of the buccal radiograph after root canal filling. *Int Endod J* 1987, Band 20: 20–24.
63. Khabbaz MG, Protogerou E, Douka E: Radiographic quality of root fillings performed by undergraduate students. *Int Endod J* 2010, Band 43: 499–508.
64. Kiefer H, Lambrecht JT, Roth J: Strahlenexposition von analogen und digitalen Zahnstaten und Panoramaschichtaufnahmen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2004, Band 114: 687–693.
65. Kim S: Prevalence of apical periodontitis of root canal-treated teeth and retrospective evaluation of symptom-related prognostic factors in an urban South Korean population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010, Band 110: 795–799.
66. Kim S, Baek S: The microscope and endodontics. *Dental Clinics of North America* 2004, Band 48: 11–18.
67. Kirkevang LL: Root canal treatment and apical periodontitis: What can be learned from observational studies? *Endod Topics* 2011, Band 18: 51–61.
68. Kirkevang LL, Hørsted-Bindslev P, Ørstavik D, Wenzel A: Frequency and distribution of endodontically treated teeth and apical periodontitis in an urban Danish population. *Int Endod J* 2001, Band 34: 198–205.
69. Kirkevang LL, Ørstavik D, Hørsted-Bindslev P, Wenzel A: Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in a Danish population. *Int Endod J* 2000, Band 33: 509–515.
70. Kirkevang LL, Væth M, Hørsted-Bindslev P, Wenzel A: Longitudinal study of periapical and endodontic status in a Danish population. *Int Endod J* 2006, Band 39: 100–107.
71. Kirkevang LL, Wenzel A: Risk indicators for apical periodontitis. *Community Dent Oral Epidemiol* 2003, Band 31: 59–67.
72. Klein F, Eickholz P: Die chirurgische Kronenverlängerung. *Glossar der Grundbegriffe für die Praxis. Parodontologie* 2004, Band 15: 239–244.
73. Koriath TW, Hannam AG: Deformation of the human mandible during simulated tooth clenching. *J. Dent. Res.* 1994, Band 73: 56–66.

74. Körperich EJ, Maiwald HJ: Grundlagen der Kinderzahnheilkunde. Spitta-Fachinformationen. Spitta, Balingen 2008
75. Kreienbrock L, Schach S: Epidemiologische Methoden. Elsevier, Spektrum, Akad. Verl., München, Heidelberg 2005
76. Kunkel M, Wagner W: Operative Entfernung von Weisheitszähnen. Leitlinie
77. Kvist T, Rydin E, Reit C: The relative frequency of periapical lesions in teeth with root canal-retained posts. *J Endod* 1989, Band 15: 578–580.
78. Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977, Band 33: 159–174.
79. Lehmann KM, Hellwig E: Zahnärztliche Propädeutik. Elsevier, Urban & Fischer, München 2005
80. Lin LM, Pascon EA, Skribner J, Gängler P, Langeland K: Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1991, Band 71: 603–611.
81. Lin PY, Huang SH, Chang HJ, Chi LY: The Effect of Rubber Dam Usage on the Survival Rate of Teeth Receiving Initial Root Canal Treatment: A Nationwide Population-based Study. *Journal of Endodontics* 2014, Band 40: 1733–1737.
82. Lofthus JJ, Keating AP, Mc Cartan BE: Periapical status and quality of endodontic treatment in an adult Irish population. *Int Endod J* 2005, Band 38: 81–86.
83. Lupi-Pegurier L, Bertrand MF, Muller-Bolla M, Rocca JP, Bolla M: Periapical status, prevalence and quality of endodontic treatment in an adult French population. *Int Endod J* 2002, Band 35: 690–697.
84. Magura ME, Kafrawy AH, Brown CE, Newton CW: Human saliva coronal microleakage in obturated root canals: an in vitro study. *J Endod* 1991, Band 17: 324–331.
85. Mala S, Lynch C D, Burke FM, Dummer PMH: Attitudes of final year dental students to the use of rubber dam. *Int Endod J* 2009, Band 42: 632–638.
86. Marending M, Peters OA, Zehnder M: Factors affecting the outcome of orthograde root canal therapy in a general dentistry hospital practice. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005, Band 99: 119–124.
87. Marques MD, Moreira B, Eriksen HM: Prevalence of apical periodontitis and results of endodontic treatment in an adult, Portuguese population. *Int Endod J* 1998, Band 31: 161–165.
88. Mc Caul LK, Mc Hugh S, Saunders WP: The influence of specialty training and experience on decision making in endodontic diagnosis and treatment planning. *Int Endod J* 2001, Band 34: 594–606.
89. Mielck A: Die Verminderung sozial bedingter Ungleichheit von Gesundheits-Chancen als Aufgabe für Public Health. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 2001, Band 44: 804–812.
90. Molander B, Ahlqwist M, Gröndahl HG: Panoramic and restrictive intraoral radiography in comprehensive oral radiographic diagnosis. *European Journal of Oral Sciences* 1995, Band 103: 191–198.
91. Molander B, Ahlqwist M, Gröndahl HG, Hollender L: Comparison of panoramic and intraoral radiography for the diagnosis of caries and periapical pathology. *Dentomaxillofac Radiol* 1993, Band 22: 28–32.
92. Molven O, Halse A, Fristad I: Long-term reliability and observer comparisons in the radiographic diagnosis of periapical disease. *Int Endod J* 2002, Band 35: 142–147.
93. Mukhaimer R, Hussein E, Orafi I: Prevalence of apical periodontitis and quality of root canal treatment in an adult Palestinian sub-population. *The Saudi Dental Journal* 2012, Band 24: 149–155.

94. Nair PNR, Pajarola G, Schroeder HE: Types and incidence of human periapical lesions obtained with extracted teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996, Band 81: 93–102.
95. Ödesjö B, Hellden L, Salonen L, Langeland K: Prevalence of previous endodontic treatment, technical standard and occurrence of periapical lesions in a randomly selected adult, general population. *Endod Dent Traumatol* 1990, Band 6: 265–273.
96. Ørstavik D: Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J* 1996, Band 29: 150–155.
97. Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM: The periapical index: A scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol* 1986, Band 2: 20–34.
98. Özbaş H, Aşçı S, Aydın Y: Examination of the prevalence of periapical lesions and technical quality of endodontic treatment in a Turkish subpopulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011, Band 112: 136–142.
99. Pasler FA: *Taschenatlas der Zahnärztlichen Radiologie*. Thieme, Stuttgart 2003
100. Patel N, Rushton VE, Macfarlane TV, Horner K: The influence of viewing conditions on radiological diagnosis of periapical inflammation. *Br Dent J* 2000, Band 189: 40–42.
101. Peters LB, Lindeboom JA, Elst ME, Wesselink PR: Prevalence of apical periodontitis relative to endodontic treatment in an adult Dutch population: a repeated cross-sectional study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2011, Band 111: 523–528.
102. Petersson K, Petersson A, Olsson B, Hakannsson J, Wennberg A: Technical quality of root fillings in an adult Swedish population. *Endod Dent Traumatol* 1986, Band 2: 99–102.
103. Porta MS, Greenland S, Last JM: *A dictionary of epidemiology*. Oxford University Press, New York, Oxford 2008
104. Pschyrembel W: *Klinisches Wörterbuch*. De Gruyter, Berlin 2004
105. Ray HA, Trope M: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *Int Endod J* 1995, Band 28: 12–18.
106. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH: Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 1989, Band 15: 512–516.
107. Regli CP, Kelly EK: The phenomenon of decreased mandibular arch width in opening movements. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 1967, Band 17: 49–53.
108. Reit C, Gröndahl HG: Application of statistical decision theory to radiographic diagnosis of endodontically treated teeth. *Scand J Dent Res* 1983, Band 91: 213–218.
109. Reit C, Hollender L: Radiographic evaluation of endodontic therapy and the influence of observer variation. *Scand J Dent Res* 1983, Band 91: 205–212.
110. Ricucci D, Bergenholz G: Bacterial status in root-filled teeth exposed to the oral environment by loss of restoration and fracture or caries – a histobacteriological study of treated cases. *Int Endod J* 2003, Band 36: 787–802.
111. Rohlin M, Kullendorff B, Ahlqvist M, Stenström B: Observer performance in the assessment of periapical pathology: a comparison of panoramic with periapical radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1991, Band 20: 127–131.
112. Röhrig B, Prel JB, Wachtlin D, Blettner M: Studientypen in der medizinischen Forschung: Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. *Dtsch Arztebl Int* 2009 2009, Band 106: 262–268.
113. Ryan W, O'Connel A: The attitudes of undergraduate dental students to the use of rubber dam. *J Ir Dent Assoc* 2007, Band 53: 87–91.

114. Salehrabi R, Rotstein I: Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod* 2004, Band 30: 846–850.
115. Saunders MB, Gulabivala K, Holt R, Kahan RS: Reliability of radiographic observations recorded on a proforma measured using inter- and intra-observer variation: a preliminary study. *Int Endod J* 2000, Band 33: 272–278.
116. Saunders WP, Saunders EM, Sadiq J, Cruickshank E: Technical standard of root canal treatment in an adult Scottish sub-population. *Br Dent J* 1997, Band 182: 382–386.
117. Schaeffer MA, White RR, Walton RE: Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature. *J Endod* 2005, Band 31: 271–274.
118. Schröder J: Die dentale Volumentomografie in der endodontischen Revisionsbehandlung. *Endodontie* 2012, Band 21: 395–406.
119. Schulte A, Pieper K, Charalabidou O, Stoll R, Stachniss V: Prevalence and quality of root canal fillings in a German adult population. A survey of orthopantomograms taken in 1983 and 1992. *Clin Oral Invest* 1998, Band 2: 67–72.
120. Schulze R: Dentale digitale Volumentomographie. Leitlinie. http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/083-005I_S2k_Dentale_Volumentomographie_2013-10.pdf. [Stand: 06.01.2014].
121. Schulze R, Haßfeld S, Schulze D: Dentale Volumentomografie (DVT). Leitlinie. http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/S1_Empfehlung_Dentale_Volumentomographie.pdf. [Stand: 15.04.2013].
122. Schwenzer N: Chirurgische Grundlagen. Thieme, Stuttgart 2008
123. Schwenzer N, Ehrenfeld M: Zahnärztliche Chirurgie. Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde, Band 3. Thieme, Stuttgart 2009
124. Segura-Egea JJ, Jiménez-Pinzón A, Ríos-Santos JV, Velasco-Ortega E, Cisneros-Cabello R, Poyato-Ferrera M: High prevalence of apical periodontitis amongst smokers in a sample of Spanish adults. *Int Endod J* 2008, Band 41: 310–316.
125. Seltzer S: Long-term radiographic and histological observations of endodontically treated teeth. *J Endod* 1999, Band 25: 818–822.
126. Sidaravicius B, Aleksejuniene J, Eriksen HM: Endodontic treatment and prevalence of apical periodontitis in an adult population of Vilnius, Lithuania. *Endod Dent Traumatol* 1999, Band 15: 210–215.
127. Siqueira JF, Rôças IN, Alves FRF, Campos LC: Periradicular status related to the quality of coronal restorations and root canal fillings in a Brazilian population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005, Band 100: 369–374.
128. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 1990, Band 16: 498–504.
129. Skudutyte-Rysstad R, Eriksen HM: Endodontic status amongst 35-year-old Oslo citizens and changes over a 30-year period. *Int Endod J* 2006, Band 39: 637–642.
130. Stavropoulos A, Wenzel A: Accuracy of cone beam dental CT, intraoral digital and conventional film radiography for the detection of periapical lesions. An ex vivo study in pig jaws. *Clin Oral Invest* 2007: 101–106.
131. Tavares PBL, Bonte E, Boukpepsi T, Siqueira JF, Lasfargues JJ: Prevalence of apical periodontitis in root canal-treated teeth from an urban French population: influence of the quality of root canal fillings and coronal restorations. *J Endod* 2009, Band 35: 810–813.
132. Tekyatan H., Briseño B, Kasaj A, Mansouri G, Willershausen B: Umfrage zu maschinellen Wurzelkanalpräparationssystemen in deutschen Zahnarztpraxen. *ZWR* 2006, Band 115: 260–264.
133. Touré B, Kane AW, Sarr M, Ngom CTH, Boucher Y: Prevalence and technical quality of root fillings in Dakar, Senegal. *Int Endod J* 2008, Band 41: 41–49.

134. Tronstad L, Asbjørnsen K, Døving L, Pedersen I, Eriksen HM: Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 2000, Band 16: 218–221.
135. Tsai P, Torabinejad M, Rice D, Azevedo B: Accuracy of cone-beam computed tomography and periapical radiography in detecting small periapical lesions. *J Endod* 2012, Band 38: 965–970.
136. Tsuneishi M, Yamamoto T, Yamanaka R, Tamaki N, Sakamoto T, Tsuji K, Watanabe T: Radiographic evaluation of periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Japanese population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005, Band 100: 631–635.
137. Viktorov Y: Prävalenz von apikalen Parodontitiden sowie Häufigkeit und Qualität endodontischer Behandlungen in einer Berliner Population. Dissertation, Düsseldorf
138. Wangerin K, Lambrecht JT: Objektdoppeldarstellungen in der Panoramaschichtaufnahme-technik - Verlust von diagnostisch auswertbaren Bildanteilen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 1984: 923–928.
139. Weiger R, Hitzler S, Hermle G, Löst C: Periapical status, quality of root canal fillings and estimated endodontic treatment needs in an urban German population. *Endod Dent Traumatol* 1997, Band 13: 69–74.
140. Whitworth JM, Seccombe GV, Shoker K, Steele JG: Use of rubber dam and irrigant selection in UK general dental practice. *International Endodontic Journal* 2000, Band 33: 435–441.
141. Wu MK, Shemesh H, Wesselink PR: Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J* 2009, Band 42: 656–666.
142. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE: Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000, Band 89: 99–103.
143. Zakariasen KL, Scott DA, Jensen JR: Endodontic recall radiographs: how reliable is our interpretation of endodontic success or failure and what factors affect our reliability? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1984, Band 57: 343–347.
144. Zitzmann N, Weiger R: Wurzelkanalbehandlung versus Implantation. *Zahnmedizin up2date* 2009, Band 3: 363–386.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel danke ich für die Überlassung des Dissertationsthemas, die Möglichkeit in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität München diese Untersuchung durchführen zu können sowie die fachliche Betreuung und Auseinandersetzung.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. med. dent. Christian Diegritz für die sehr engagierte Betreuung und fachliche Unterstützung in allen Phasen der Promotion.

Weiterhin danke ich Frau Dr. med. dent. Katrin Heck für die kompetente Beratung und Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Von Herzen danke ich auch meiner Familie insbesondere meinen Eltern und meinem Mann für die tatkräftige Unterstützung meines beruflichen Werdegangs und dieser Promotion.